

MAANALAISTEN KAASU- JA PAI- NESEINIEN RAKENTAMISEN TE- HOSTAMINEN TUOTANNOHJA- UKSEN KEINAIN

Sakari Leino

Opinnäytetyö
Toukokuu 2014
Rakennustekniikka
Infrarakentaminen

TIIVISTELMÄ

Tampereen Ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikan koulutusohjelma
Infrarakentamisen suuntautumisvaihtoehto

LEINO, SAKARI;

Maanalaisten kaasu- ja paineseinien rakentamisen tehostaminen tuotannonohjauksen keinoin

Opinnäytetyö 59 sivua, joista liitteitä 10 sivua
Toukokuu 2014

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia maanalaista paine- ja kaasuseinärakentamista kustannusten ja aikataulun osalta sekä luoda sen perusteella tehtäväsuunnitelmamalli paineseinärakentamiseen. Sen avulla rakentamisketjusta pyritään saamaan mahdollisimman yhtenäinen kokonaisuus eliminoimalla virheet ja turhia kustannuksia aiheuttavat toimenpiteet.

Tutkimuksessa verrattiin paineseinärakentamiseen budjetoitua rahamäärää toteutuneisiin kustannuksiin, mistä saatiin tietoa, kuinka tarkasti budjetti toteutui. Luotettavan jälkilaskentatiedon avulla pystytään jo tarjousvaiheessa laskemaan paineseiniä sisältäviä kohteita tarkemmin, joten näin saadaan etu rakennusalan kovassa ja edelleen kiristyvässä kilpailussa.

Tutkimusmateriaalina käytettiin Töölönlahden pysäköintilaitoksen ja yhden salaisen hankkeen dokumentaatiota aikatauluista ja kustannuksista. Lisäksi haastatteluiden avulla saatiin kerättyä kokemuspohjaista tietoa haasteista ja kehitettävistä asioista.

Paine- ja kaasuseinät rakennetaan väestönsuojan rajakohtaan, ja niiden tarkoitus on suojata väestönsuojassa olevia ihmisiä ja laitteita paineaalloilta sekä haitallisilta kaasuilta kriisin aikana. Siksi näille seinille asetetaan korkeat tekniset vaatimukset ja niiden rakentaminen tulee kalliiksi.

Tutkimuksessa selvisi, että Lemminkäisellä hallitaan hyvin maanalainen paine- ja kaasuseinärakentaminen kokeneen työmaan johdon ja seiniä urakoineiden aliurakoitsijoiden ansiosta. Pitkä yhteistyö on kehittänyt toimintaa niin pitkälle, että isoja virheitä ja puutteita ei juuri esiinny.

Työstä valmistunut tehtäväsuunnitelmamalli on kuitenkin hyvä työkalu kokemattomalle työnjohtajalle parantamaan maanalaisen paineseinärakentamisen tuotannonohjausta. Se helpottaa työnjohtoa viemään kyseinen työvaihe onnistuneesti läpi ja säilyttämään yrityksen korkea laatutaso siinä. Myös Last Planner -tuotannonohjausjärjestelmän käyttö auttaa tehostamaan etenkin työvaiheen aloitusta varmistamalla, että edellytykset työn aloittamiselle ovat kunnossa.

Työ sisältää luottamuksellista kustannustietoa.

Asiasanat: paineseinä, kaasuseinä, väestönsuoja

ABSTRACT

Tampereen Ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Construction Technology
Option of Civil Engineering

LEINO, SAKARI;

Enhancing of Building of the Underground Pressure and Gas-Tight Walls by Means of
Production Control

Bachelor's thesis 59 pages, appendices 10 pages
May 2014

The goal of this thesis was to research the building of underground pressure and gas-tight walls take into account expenses and timetables and create a checklist to that building section. By that checklist the building of these walls are tried to make a solid entirety by removing all mistakes and operations that cause unnecessary costs.

The expenses of the pressure walls were considered during the research. A budget of building of these walls were compared to actualized expenses and then the information was gotten, how precisely the budget came true. With reliable post-processing knowledge it's easier to count these kind of target more precisely. With that information it's possible to get an advantage of the competition in a highly raced construction business.

The documentations of the timetables and the expenses were from two different projects, underground parking garage in Töölö, Helsinki and one secret project. An information about challenges and development things were gathered by interviewing experienced management of Lemminkäinen Infra Oy.

Pressure and gas-tight walls are built at the interface of the air raid shelter. The main purpose of these walls is to protect people and machines inside the shelter from pressure waves and harmful gases during crisis. The result is that these walls have high technical requirements and building costs.

The research proved that Lemminkäinen handles pretty well the building of underground pressure and gas-tight wall due to experienced construction managements and co-operation with the qualified subcontractors. The long co-operation has developed the action so far that big mistakes and shortages are not performed.

The checklist made during this thesis is a good tool for an unexperienced foreman to improve the production control of the underground pressure wall building. It helps foremen to conclude this stage successfully and maintain the high level of quality. Using of Last Planner -production control system helps to enhance the starting of the work stage by making sure that all the previous work stages have been finished.

This thesis contains confidential expense information.

Key words: a pressure tight wall, a gas -tight wall, an air raid shelter

SISÄLLYS

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | JOHDANTO | 5 |
| 2 | TUTKIMUKSEN ESITTELY | 6 |
| 2.1 | Työn tavoitteet | 6 |
| 2.2 | Tutkimusmenetelmät | 7 |
| 2.3 | Tutkittavat työmaat | 7 |
| 3 | TUOTANNONOHJAUKSEN NYKYTILA MAANALAISESSA RAKENTAMISESSA | 9 |
| 3.1 | Projektin suunnittelu Lemminkäinen Infra Oy:ssä | 9 |
| 3.2 | Aikatauluhallinta | 10 |
| 3.3 | Kustannushallinta | 12 |
| 3.4 | Laadunhallinta | 13 |
| 4 | LEAN CONSTRUCTION – KOHTI TEHOKKAAMPAA RAKENTAMISTA | 15 |
| 4.1 | LEAN filosofian periaate | 15 |
| 4.2 | LEAN -filosofia rakennusteollisuudessa | 15 |
| 4.3 | Last Planner | 16 |
| 5 | PAINE- JA KAASUTIIVIIT SEINÄT | 18 |
| 5.1 | Yleistä paine- ja kaasuseinistä | 18 |
| 5.2 | Tekniset vaatimukset | 18 |
| 5.3 | Työvaiheet | 20 |
| 5.4 | Varustetoimittajat | 34 |
| 5.5 | Rakentamisen potentiaaliset ongelmat | 35 |
| 6 | TUTKIMUSTULOKSET | 37 |
| 6.1 | Tehtäväsuunnitelmamalli | 37 |
| 6.2 | Aikataulutarkastelu | 37 |
| 6.2.1 | Tarkastelun toteuttaminen | 37 |
| 6.2.2 | Kaasuseinä 38 | 38 |
| 6.2.3 | Paineseinä 39 | 38 |
| 6.2.4 | Paineseinä 40 | 39 |
| 6.3 | Toteutuneet ongelmakohdat | 39 |
| 6.4 | PS 25 kustannukset | 41 |
| 7 | JOHTOPÄÄTÖKSIÄ | 45 |
| 8 | YHTEENVETO | 47 |
| | LÄHTEET | 48 |
| | LIITELUETTELO | 49 |

1 JOHDANTO

Kalliotilojen paine- ja kaasutiiviit seinät ovat vaatimusten johdosta raskasrakenteisia väestönsuojia ympäröiviä paikallavaluseiniä, joiden tehtävänä on pitää väestönsuoja vahingoittumattomana räjähdysten aiheuttamasta painekuormasta ja tiiviinä ulkopuolisilta kaasuilta. Paineseinien, -ovien ja läpivientien tulee kestää räjähdyksestä aiheutuva painekuorma. Vaadittava painekuorman kestävyys riippuu väestönsuojaluokasta.

Kalliotiloihin rakennetut paineseinät ovat kalliita rakenteita ja niiden rakentaminen vaatii runsaasti ammattitaitoa. Yleensä ne ovat rakentamisvaiheessa työmaan pahoja tulpia, koska niiden kautta hoidetaan kulku ja tavarahanhaalaus rakennettavaan väestönsuojaan. Paineseniä tehdään kohteen muodosta ja koosta riippuen jokaiseen kallioväestönsuojaan vähintään muutamasta kappaleesta useaan kymmeneen. Painesenä on aina rakenteeltaan erittäin massiivinen johtuen sen vaatimuksesta kestää räjähdyspainetta ja takaisinheilahduskuormaa. Esimerkiksi parkkihalliin ja salaiseen hankkeeseen rakennetut väestönsuojan paineseinät olivat 0,5 metristä 2 metriin paksuja ja kokonaistilavuudeltaan parhaimmillaan noin 170 m³.

Lemminkäisen uuden strategian tarkoituksena on löytää oivaltavia ratkaisuja maanalaiseen ja maanpäälliseen rakentamiseen. Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on löytää kustannustehokkaampia ratkaisuja maanalaiseen väestönsuojarakentamiseen keskittyen kustannuksiltaan poikkeuksellisen arvokkaisiin paine- ja kaasuseiniin.

Tässä työssä maanalaisen paineseinärakentamisen kehityskohtia on mietitty LEAN -filosofian mukaisiksi. LEAN -ajattelu on lähtöisin Toyotan tavasta tehdä tuotantoketju mahdollisimman tehokkaaksi hävittämällä ketjusta kaikki mahdollinen hukka, on se sitten ajallista tai materiaalista hukkaa. Ajattelutapaa on alettu soveltaa myös rakennus-alalla ja Lemminkäisellä tähdätään juuri LEAN -filosofian mukaiseen toimintatapaan.

2 TUTKIMUKSEN ESITTELY

2.1 Työn tavoitteet

Opinnäytetyön tavoitteena on tutkia maanalaista väestönsuojarakentamista kaas- ja painetiiviiden seinien osalta ja laatia tehtäväsuunnitelmamalli niiden rakentamisvaiheista Lemminkäinen Infra Oy:lle. Tehtäväsuunnitelmamallin tarkoituksena on luoda tehtäväsuunnitelmamalli kyseiselle rakentamisen osa-alueelle, jonka helpottaa työvaiheiden läpikäymistä ja poistaa virheiden sekä unohduksien mahdollisuuksia. Sen avulla voidaan tunnistaa kaas- ja paineseinärakenteiden rakentamisen ongelmakohtia ja kehittää niiden rakentamista kustannustehokkaammaksi. Tämän työn tuloksena valmistuva paineseinien tehtäväsuunnitelmamalli tähtää nimenomaan laadunhallintaan ja virheiden minimointiin kyseisellä rakentamisen alueella.

Toinen tutkimuksen tavoitteista oli tarkastella paineseinärakentamisen kustannuksia projektin tarjousvaiheesta sen päättymiseen. Tarkoitus oli selvittää, kuinka hyvin laskennan aikainen budjetti toteutuu projektin toteuttamisessa. Näin saadaan arvokasta tietoa tulevien kohteiden tarjouslaskentaan ja osataan jo siinä vaiheessa varautua tarkemmin tuleviin kustannuksiin.

Opinnäytetyön tutkimuskohteina käytettiin kahta Lemminkäinen Infra Oy:n toteuttamaa kohdetta, Töölönlahden pysäköintilaitosta ja yhtä salaista rakennushanketta. Tarkoituksena oli tutkia ja analysoida näiden kohteiden paineseinien rakentamisaikatauluja ja -kustannuksia vertailemalla suunniteltuja aikatauluja sekä kustannuksia toteutuneisiin.

Työssä oli myös tarkoitus tarkastella Lemminkäinen Infra Oy:n nykyistä tuotannonohjausta ja aikatauluhallintaa. Projektisuunnitelmamallista läpikäytiin pääasiassa aikataulun-, kustannusten ja laadunhallintaan liittyvät kohdat. Niitä tutkimalla saatiin ideoita myös paineseinärakentamisen kehittämiseen ja tehtäväsuunnitelmamallin luomiseen.

2.2 Tutkimusmenetelmät

Tutkimuksessa on otettu huomioon Lean construction -ajattelutapa, joka tähtää jatkuvaa parantamiseen ja hukan minimoimiseen rakennussuorituksessa. Lemminkäisellä on pyritty kehittämään toimintaa Lean construction periaatteiden mukaan ja siitä syystä myös tämä työ tähtää sen periaatteen mukaiseen toimintatapaan.

Lähtötietoina tarkasteltiin Lemminkäinen Infra Oy:n nykyistä projektisuunnitelmaa, josta saatiin tietoa Lemminkäisen tavasta toteuttaa rakennusprojekti. Kustannustietoja tarkasteltaessa tutkittiin referenssikohteiden laskennan aikaisia budjetteja ja verrattiin toteutuneisiin kuluihin. Tiedot saatiin selville tarkastelemalla laskennan aikaisia dokumentteja ja työn aikana kertyneitä laskuja. Aikataulutarkastelussa tutkittiin kohdekohtaisia Planet -aikatauluja, jotka oli laadittu ennen työn aloittamista. Niitä verrattiin toteutuneisiin aikatauluihin.

Lemminkäisen toimintajärjestelmää tutkimalla saatiin tietoa muiden työvaiheiden työvaihesuunnitelmista. Sieltä päästiin käsiksi tärkeisiin detaljeihin, joita myös paineseinärakentamisen kohdalla olisi hyvä ottaa huomioon niiden rakentamisen tehostamiseksi.

2.3 Tutkittavat työmaat

Etu-Töölöön Finlandia-talon alle vuonna 2012 kesällä valmistunut 650 auton parkkiluola toimii kriisin aikana väestönsuojatilana 3800 hengelle. Lemminkäinen Infra Oy toteutti hankkeen KVR- urakkana louhinnasta rakennusvaiheen loppuun saakka. Työn tilaaja oli HKR -rakennuttaja. Pysäköintilaitoksen rakennuttajana toimi Töölönlahden pysäköinti Oy ja Finlandia-talon huoltotilojen osalta Helsingin kaupungin tilakeskus. Urakka kesti reilut kaksi vuotta ja valmistui noin puoli vuotta etuajassa. Urakkasumma oli noin 35 miljoonaa euroa ilman lisätöitä. (Lemminkäinen Infra Oy 2011)

Sijaintinsa ansiosta pysäköintilaitos palvelee varsinkin Finlandia-talon ja musiikkitalon yleisöä. Molempiin taloihin tehtiin hissiyhteys suoraan pysäköintilaitoksesta. Pysäköintilaitos palvelee hyvin myös junaradan varteen nousevien toimisto- ja asuinrakennusten ihmisiä.

Toinen työssä tutkittu työmaa oli salassa pidettävä kohde, jonka rakennustekniset työt alkoivat vuonna 2012 ja kestävät noin kaksi vuotta. Lemminkäinen Infra Oy toimii hankkeen pääurakoitsijana rakennusurakassa, jossa on useita alistettuja sivu -urakoita. Lemminkäinen Infra Oy on toteuttanut myös kohteen louhintatyöt.

3 TUOTANNONOHJAUKSEN NYKYTILÄ MAANALAISESSA RAKENTAMISESSA

3.1 Projektin suunnittelu Lemminkäinen Infra Oy:ssä

Rakennusprojektissa tärkeää on kohteen huolellinen suunnittelu ja aikataulutus. Se on edellytyksenä onnistuneelle rakennushankkeelle. Lemminkäinen Infra Oy käyttää onnistuneen projektin suorittamiseen projektisuunnitelmamallia, joka on kirjattu Lemminkäisen toimintajärjestelmään. Projektisuunnitelman tarkoitus on luoda edellytykset projektin turvalliselle ja hallitulle läpiviennille varmistamalla sopimuksenmukaisten aikataulu-, kustannus- ja laatuavoitteiden saavuttaminen. (Projektisuunnitelmamalli, Lemminkäinen Infra Oy 2011.)

Projektisuunnitelmassa läpikäydään toteutettava hanke etukäteen ja siihen kirjataan turvallisuus- ja ympäristösuunnitelma. Siinä määritellään projektin organisaatio ja toimihenkilöiden vastuualueet, suunnitelmat projektin aikataulun-, laadunhallintaan, yhteistyö hankeen eri osapuolten kanssa, riskienhallinta ja tiedon kulku. Projektisuunnitelma toimitetaan tilaajalle siinä vaiheessa, kun urakkakilpailu on voitettu ja kohdetta aloitetaan rakentamaan. Projektisuunnitelmaa päivitetään sitä mukaan, kun hanke etenee. (Lemminkäinen Infra Oy 2011.)

Projektisuunnitelma on tuotannonohjaustyökalu, jota täydennetään jatkuvasti kohteen edetessä. Projektisuunnitelman päivittämisestä vastaa siihen nimetty toimihenkilö, yleensä laatu- tai projekti-insinööri. Projektisuunnitelma pitää olla työmaan organisaatioon kuuluvien henkilöiden ja tilaajan nähtävissä sähköisenä projektipankissa tai paperiversiona työmaatoimistossa. Siihen tehtävät muutokset on läpikäytävä työmaakokouksessa ja työmaan sisäisessä viikkopalaverissa. (Lemminkäinen Infra Oy 2011.)

Projektisuunnitelman tärkeimmät kohdat paine- ja kaasuseinärakentamiselle ovat aikataulu-, kustannus- ja laadunhallinta, joihin perehdytään seuraavissa kohdissa tarkemmin.

3.2 Aikatauluhallinta

Aikataulun huolellinen suunnittelu ja sen hallinta on yksi merkittävimmistä keinoista rakennuskohteen onnistuneelle läpiviennille. Lemminkäisellä rakennusprojektiin laaditaan monenlaisia aikatauluja niin lyhyelle, kuin pitkällekin aikajänteelle. Aikataulun hallinta korostuu etenkin paineseinärakentamisessa, jolloin johonkin osaan työnmaata saattaa kulku katketa seinän rakentamisen ajaksi. Sivu- tai aliurakoitsijalle ilmoitettu aikataulu on syytä pysyä laadituissa puitteissa tai muuten huolimattomalla aikataulun laatimisella saattaa olla viivästyksiä muiden urakoitsijoiden työsuorituksiin.

Lemminkäinen Infran projektisuunnitelmamallin mukaan aikatauluhallinnan tavoitteita onnistuneen projektin läpiviemisen lisäksi ovat:

- tunnistaa projektin kriittinen polku
- selvittää hankintojen aikataulutus, jotta työt pystytään suorittamaan yleisaikataulun puitteissa, eikä työ jää kiinni materiaalien puutteista
- tunnistaa mahdollisimman nopeasti työvaiheet, joissa jäädään jälkeen suunnittelusta aikataulusta ja puuttua asiaan tilanteen korjaamiseksi.
- töiden yhteensovituksen ajoitus eri urakoitsijoiden kesken.

Lemminkäinen Infra Oy:n maanalaisissa rakennuskohteissa kolme tärkeintä aikatauluhallinnan työkalua ovat pitkän tähtäimen yleisaikataulu, muutaman kuukauden eteenpäin katsova työvaiheikataulu ja vielä lyhyemmälle tähtäimelle katsova viikkoaikataulu. Aikataulut suunnitellaan käyttämällä Planet -aikatauluhallintaohjelmaa. (Lemminkäinen Infra Oy 2011.)

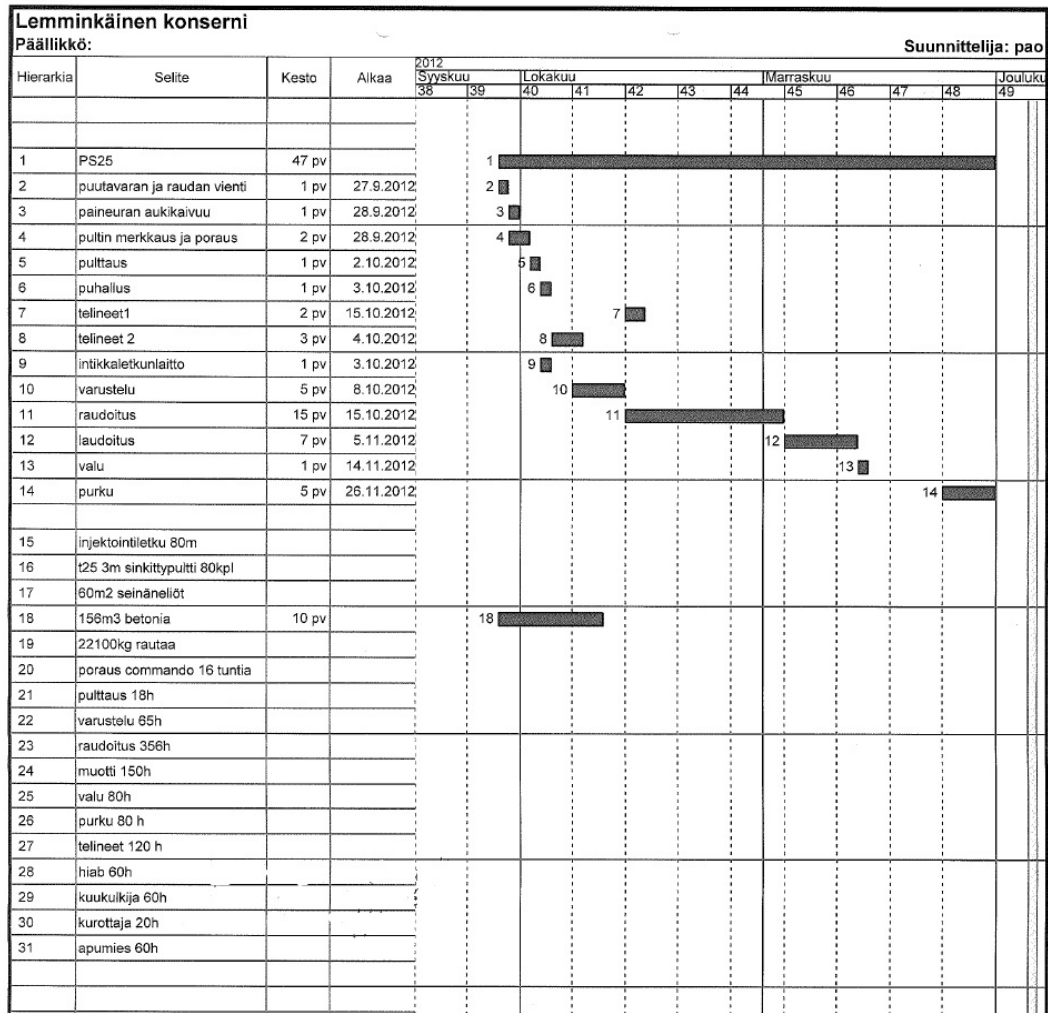
Yleisaikataulu laaditaan projektin alkuvaiheessa yhdessä rakennuttajan kanssa ja sitä päivitetään tarvittaessa projektin edetessä. Muutokset vaativat aina tilaajan hyväksynnän, joten yleisaikatauluun tehdyt muutokset ovat melko harvinaisia. Yleisaikataulusta ilmenee kaikki rakennushankkeen työvaiheet, niin pää-, kuin sivu-urakoitsijoidenkin tekemät. Yleisaikataulu on kätevä työkalu kokonaisuuden hahmottamiseen ja siitä jokainen pystyy seuraamaan projektin edistymistä aikataulussa ja puuttumaan välittömästi mahdollisiin myöhästymisiin. Yleisaikatauluun merkitään mahdolliset välitavoitteet pystyviivoilla. Työmaakokouksissa seurataan aikataulun toteutumista ja sovitaan siihen tehtävistä muutoksista. (Rakennushankkeen ajallinen suunnittelu ja ohjaus 2011.)

Työvaiheaikataulut ovat nimensä mukaisesti vain jonkun rakennusvaiheen kattava aikataulu. Se voi kattaa yhdestä kuukaudesta muutamaan kuukauteen ja sen laatii kyseisestä työvaiheesta vastaava työnjohtaja yhdessä työmaapäällikön kanssa. Tähän tutkimukseen käytettyjen kohteiden osalta työvaiheaikatauluja laadittiin mm. runkovaiheesta eli käytännössä betonointitöiden osalta sekä sisävalmistusvaiheesta. Myös loppusiivous- ja luovutusaikataulut ovat työvaiheaikatauluja.

Paineseinärakentamisen tärkeydestä kertoo myös se, että Planet -aikataulu laadittiin jokaisesta paineseinän rakentamisesta ja ne kattoivat jokaisen niihin kuuluneen työvaiheen. Näin pystyttiin hallitsemaan paremmin tärkeitä työvaihetta ja saatiin jatkon kannalta arvokasta tietoa rakennusvaiheen toteutumisesta.

Viikkoaikataulun tarkoitus on selvittää työmaan organisaatiolle tulevien viikkojen työvaiheet, jota noudattamalla pysytään yleisaikataulun vauhdissa mukana. Se on tärkeä työkalu etenkin työnjohtajille, jotta työmaalla osataan suunnata panokset tärkeimpiin työvaiheisiin tulevaisuuden kannalta. Viikkoaikataulun ei välttämättä tarvitse olla edes Planet -pohjainen, siihen käy hyvin myös pelkkä tulevien töiden ylöskirjaus ja jokaiseen nimetty vastuhenkilö työvaiheen toteuttamiseksi. Viikkopalaverissa käydään läpi seuraavan viikon kriittisiä työvaiheita ja nimetään niille vastuhenkilö. (Rakennushankkeen ajallinen suunnittelu ja ohjaus 2011.)

Yleisaikataulua ja runkovaiheaikataulua seurataan jatkuvasti työmaalla ja niitä seuraamalla voidaan arvioida myös resurssien riittävyyttä. Aikatauluissa pysyminen antaa signaalin resurssien riittävästä määrästä, kun taas liian pienellä miehistöllä operoidessa jäädytään jälkeen yleisaikataulusta ja tilanteeseen osataan reagoida mahdollisimman nopeasti.



KUVA 1. Planet työvaihe aikataulu paineseinän rakentamisesta. (Lemminkäinen Infra Oy 2012)

3.3 Kustannushallinta

Kustannusten hallinta ja budjetissa pysyminen on rakennusprojektissa tärkein osa-alue. Liikevoiton tuottaminen yhtiölle on välttämätön edellytys yhtiön pitkäaikaisen toimimisen kannalta. Onnistunut rakennusprojekti tuottaakin tervettä ja turvallista asuin- tai työympäristöä ja samalla liikevoittoa rakennusyhtiölle. Siitä syystä kustannushallinta täytyy olla hyvin hallussa koko projektin ajan budjetin laskemisesta projektin päättämiseen. Lemminkäinen Infra Oy:llä on käytössä useita menetelmiä, joilla varmistetaan kustannusten hallinta ja projektien kannattavuus.

Kustannushallinnan tavoitteita ovat:

- realistisen budjetin laatiminen, jonka perusteella projektia viedään eteenpäin ja voidaan seurata hankintojen tavoitteita ja onnistumista
- luoda toimiva järjestelmä kustannusten seurantaan projektin aikana ja ennusteet kustannusten kehittymisestä projektin päättymiseen asti
- litteroida kustannukset eri työvaiheille, josta saadaan tietoa kulujen jakautumisesta tuleviin projekteihin
- seurata urakkatarjousten sopivuutta budjetin raameihin
- tiedon tuottaminen rakennusyhtiön projektiorganisaatiolle
- mahdollisiin kustannusten ylityksiin nopea puuttuminen ja tilanteen korjaaminen. (Projektisuunnitelmamalli 2011.)

Kustannusseurantaa tehdään työmaan ylemmän johdon toimesta päivittäin. Työmaan muu johto voi seurata kustannusten kehitystä sähköisesti ja viikkopalaverissa projekti-päällikkö käy säännöllisesti läpi työmaan kustannustilanteen, jotta koko työmaan johtoporukka pysyy ajan tasalla siitä, miten projekti etenee taloudellisesti ja mihin ongelmiin pitäisi puuttua. (Lemminkäinen Infra Oy 2011.)

Kassavirtaennuste on myös tärkeä työkalu kustannusten kehittymisen ja tulojen kannalta. Siitä selviää suurin piirtein kustannusten kehittyminen tulevina kuukausina eri litte-roilla. Kassavirtaennuste on tärkeä dokumentti yhtiön ja yksikön sisäiseen käyttöön rahoitustilanteen seuraamiseksi ja ennakoimiseksi. Kassavirtaennuste päivitetään kuukausittain sisäisen raportoinnin yhteydessä (Lemminkäinen Infra Oy 2011)

3.4 Laadunhallinta

Tuotannonohjauksessa laadun tarkkailu on yksi merkittävimmistä tekijöistä, jotta saavutetaan projektille asetetut aikataulu- ja kustannustavoitteet. Alusta asti suunniteltu ja toteutettu laadunhallinta vähentää virheiden määrää ja työvaiheiden korjaus ja uusimiskustannuksia sekä säästää aikaa. Huolella tehty laatusuunnittelu antaa myös tilaajalle myönteisen kuvan rakennusyhtiöstä ja tiedon siitä, että kohde tullaan toteuttamaan sopimuksen mukaisesti ja hyvää rakennustapaa noudattaen. (Lemminkäinen Infra Oy 2011.)

Lemminkäisellä laatutavoitteet on jaettu kahteen eri kategoriaan, teknisiin ja toiminnallisiin laatutavoitteisiin. Tekniset tavoitteet tarkoittavat lähinnä rakennusvaiheiden suunnitelmien mukaista toteutusta kaikilta osilta ja yleisten laatuvaatimusten noudattamista. Toiminnalliset laatutavoitteet pyrkivät virheiden minimointiin ja puutteiden kirjaamiseen sekä riskien eliminointiin ja aikataulun mukaiseen toteuttamiseen. (Lemminkäinen Infra Oy 2011.)

Lemminkäisellä laadunhallinnan keskeisin osa on huolellisen laatusuunnitelman ja laadunvarmistussuunnitelman laatiminen. Laadunvarmistussuunnitelmaa pidetään tärkeimpänä yksittäisenä työkaluna laadukkaan työsuorituksen saavuttamiseksi. Siihen kirjataan projektin tärkeimmät työvaiheet (esim: paineseinät), niistä vastaava henkilö, laadunvarmistustoimenpiteet ja siitä tehtävä dokumentointi. Siihen kirjataan myös työvaiheet, joista laaditaan toteutussuunnitelma. Työvaiheen toteutussuunnitelmassa käytännössä läpikäydään koko rakentamisketju kyseisestä työvaiheesta aloitusedellytyksistä loppudokumentointiin ja huomioiden riittävät resurssit ja materiaalit. Näin varmistetaan, että virheitä ja inhimillisiä erehdyksiä ei pääse sattumaan. Tähän pyrittiin myös paineseinärakentamisen kohdalla tässä työssä. (Lemminkäinen Infra Oy 2011.)

4 LEAN CONSTRUCTION – KOHTI TEHOKKAAMPAA RAKENTAMISTA

4.1 LEAN filosofian periaate

Lean -ajattelutapa on lähtöisin Toyotan kehittämästä tavasta tehdä tuotantoprosessi mahdollisimman tehokkaaksi. Leanin periaatteena on, että kaikki toiminta, jotka eivät tuota tuotteelle lisäarvoa, on hukkaa (Womack, Jones & Roos 1990). Toyota on määritellyt, että hukaksi luokitellaan ylituotanto, odottaminen, turhat kuljetukset, materiaalin siirrot, väärä- tai yliprosessointi, ylisuuret varastot, turhat liikkeet, virheet sekä luovuu-den käyttämättä jättäminen. Lean on yksinkertaisuudessaan jatkuvaa kehittämistä ja täydellisyyden tavoittelua. (Merikallio & Haapasalo 2009.)

Lean construction on Lean ajattelutavan soveltamista rakennusosalalle. Vaikka kaikkea Toyotan toimintatavoista ei voikaan suoraan verrata rakennusosalalle, on menetelmässä useita asioita, joita voi käyttää hyödyksi myös rakennusprojekteissa. Tässä työssä on käytetty Toyotan laatimia Lean -filosofian menetelmiä kehittämään maanalaista väestönsuojarakentamista. (Merikallio & Haapasalo 2009.)

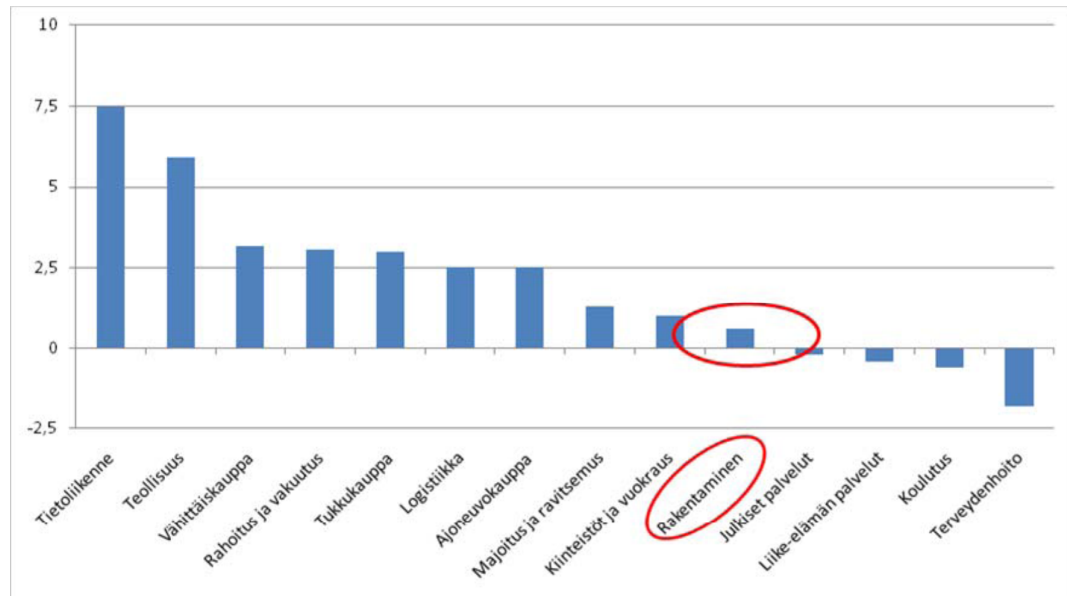
Leanin ydin yhdellä lauseella kerrottuna on, että haetaan toimintatapoja ja työkaluja, joilla voidaan tehostaa tuotantoprosessia, mikäli uusia tehokkaampia tapoja löytyy, ne yhdistetään olemassa olevaan. (Merikallio & Haapasalo 2009.)

4.2 LEAN -filosofia rakennusteollisuudessa

Projektikohtaisen luonteensa takia rakennusosalalla Lean -filosofian noudattaminen on hyvin haastavaa. Toyotan mallissa alihankkijat ovat samoja tuttuja läpi vuosikymmenten, siksi niiden kanssa helpompi kehittää Lean -ajattelutapaa ja vaatia samoja asioita kuin omilta työntekijöiltä. Rakentamisen projektiluontoisuus aiheuttaa sen, että pitkäjänteisyys tilaajan ja toimittajan välillä puuttuu ja tästä syystä Leanin kehittäminen on alalla erittäin vaikeaa. (Merikallio & Haapasalo 2009.)

ETLA:n tekemien tutkimusten mukaan rakennusosalalla tuottavuus on muita teollisuuden muotoja heikompaa, joten Lean constructionin tarkoitus on saada rakennusalan tuotta-

vuus nousuun soveltamalla muualla teollisuudessa käytettyjä Lean -filosofian teesejä. Koska hukkan poistaminen on Leanin tärkein periaate ja rakennusteollisuudessa hukkaa syntyy erittäin paljon, on ajattelutavan kehittäminen ja soveltaminen rakennusosalalle hyvin tärkeää. Menetelmää on kehitetty rakennusosalalle jo yli kymmenen vuotta ja kehitystyön tärkeimpänä osana on ollut Lean Construction -instituutit, joissa tehtyjen tutkimusten perusteella Lean -filosofiaa noudattamalla voidaan rakennusprojektin kustannuksia vähentää jopa 10- 40 %. (Merikallio & Haapasalo 2009.)



Kuva 2. Teollisuuden alojen tuottavuuden kehitys vuosina 1980- 2007 (ETLA)

4.3 Last Planner

Näkyvin käytössä oleva Lean -filosofian menetelmä Lemminkäinen Infran työmailla on Last Planner -tuotannonohjausjärjestelmä. Last Planner tarkoittaa viimeistä suunnittelijaa ja rakennustyömaalla viimeinen suunnittelija on se henkilö, joka toimeenpanee tehtävän (Työmaan toimiva tuotannonohjaus 2011).

Last Planner -järjestelmässä työmaan seinälle kirjataan ylös kaikki tulevien 2-3 viikon kriittiset työvaiheet ja pyritään siihen, että edeltävät ja valmistelevat työvaiheet olisivat ajoissa tehtynä. Last Planner on menetelmä, joka keskittyy lyhyen aikavälin, esimerkiksi viikon, huolelliseen ja valmistelemaan suunnitteluun ja ohjaukseen. (Rakennuslehti 2004.)

Last Planner -tuotannonohjausjärjestelmää seuraamalla ja sitä säännöllisesti päivittämällä, voidaan pienentää työmaan kustannuksia ja lisätä tehokkuutta. Sillä on myös havaittu olevan työturvallisuutta parantavia vaikutuksia, koska puutteet voidaan kirjata taululle ja määrätä niiden korjauksesta vastaava työnjohtaja. (Työmaan toimiva tuotannonohjaus 2011.)

Last Planner -menetelmän ajatus on pyrkiä poistamaan perinteisen tuotannonohjauksen pahimpia ongelmia, jotka aiheuttavat tuottavuuden alentumista, kuten:

- tehtävän aloituksen ongelmat ja viivästykset
- tehtävän kuluessa ilmaantuneet ongelmat, jotka aiheuttavat häiriöitä ja katkoja
- tehtävän keskeytyminen. (Työmaan toimiva tuotannonohjaus 2011.)



KUVA 3. Tulevien viikkojen työvaiheita kirjattuna Last Planner -lappuseinälle Lemminkäinen Infra Oy:n työmaalla. (Lemminkäinen Infra Oy 2014)

5 PAINE- JA KAASUTIIVIIT SEINÄT

5.1 Yleistä paine- ja kaasuseinistä

Maanalaista väestönsuojaa ympäröivät paine- ja kaasutiiviit seinät ovat poikkeuksellisia rakenteita niiden vaatimusten takia. Voisi jopa väittää, että ne ovat väestönsuojan kestävyiden ja suojassa olevien turvallisuuden kannalta tärkeimmät elementit rakennettaessa väestönsuoja kalliotilaan. Kallio ympärillä on niin vahvaa ja lisäksi vahvistettua, että sen pettämisestä ei ole vaaraa. Paine- tai kaasusuojaseinän pettäessä väestönsuojan käytettävyyks kriisinaikana katoaa. Siksi niiden rakentamisen laatu täytyy olla joka kerta huippuluokkaa.

Paineseinien paksuudet vaihtelevat paljon johtuen erisuuruista painekuorman kestävyysvaatimuksista. Esimerkiksi tässä tutkimuksessa käytettyjen seinien paksuudet nousivat parhaimmillaan kahteen metriin, johtuen niiden tiukoista painekuorman kestävyysvaatimuksista. Paine- ja kaasuseinien heikoimmaksi kohdaksi muodostuu kallion ja seinän rajapinta. Sen vahvistamiseksi seinä ankkuroidaan kallioon tiheästi harjateräsankku-rein, joita porataan rinnakkain kahteen riviin. Tapit juotetaan kallioon yleensä kahden metrin syvyyteen, jonka avulla saadaan aikaiseksi vahva rajapinta kallion ja seinän väliin.

5.2 Tekniset vaatimukset

Sisäasianministeriö on laatinut asetuksen väestönsuojien teknisistä vaatimuksista. Tässä opinnäytetyössä käsitellään vain kalliotiloissa sijaitsevia väestönsuojia.

Kallioväestönsuojia ympäröivät paineseinät on mitoitettava kestäämään vähintään 300 kN/m² olevan painekuorman. Salaisessa hankkeessa toteutetut seinät ovat kuitenkin mitoitettu jopa 900 kN/m² painekuormalle, joten rakenteet ovat merkittävästi vaatimuksia lujempia. Paineseinät on myös mitoitettava takaisinheilahduskuormalle, joka tulee olla yksi kolmasosa mitoitetusta painekuormasta. Kallioväestönsuojia ympäröivät painekuormia vastaanottavat seinät on oltava vähintään 800 mm paksua teräsbetonia. Paineseinät on sijoitettava niin, että niissä olevat varusteet ovat mahdollisimman sirpa-

lesuojaisessa paikassa mahdollisen aseellisen hyökkäyksen takia. Myös kalliosuojan sisällä sijaitsevien teräsbetoniseinien, -pilareiden ja -välipohjien vahvuus on oltava vähintään 200 mm paksuja ja ne tulee mitoittaa kestäämään tärähdyskuormia. (Valtioneuvoston asetus väestönsuojien teknisistä vaatimuksista... 2011.)

Kallioväestönsuojien sisäinen kalliokatto tulee ruiskuttaa vähintään 60 mm ruiskubetonikerroksella ja suojan seinät sekä suojaan johtavat tunnelit vähintään 40 mm ruiskubetonikerroksella. Suojan kalliokatto tulee mitoittaa kallion kattoon tasaisesti vaikuttavalle 600 kN/m² kuormalle ja katto on aina lujitettava kalliopulteilla sekä hehkutetulla teräsverkolla. Teräsverkon voi korvata betoniin sekoitettavilla teräskuiduilla. (Valtioneuvoston asetus väestönsuojien teknisistä vaatimuksista... 2011.)

Seinissä käytettävä betoni on oltava lujuudeltaan K40-1 ja rasisluokka XC-3. Kohteen vaatimuksista riippuen suunnittelukäyttöikä voi vaihdella 50 vuodesta 100 vuoteen. Myös XC-3 rasisluokan vaatimukset kasvavat suunnittelukäyttöiän noustessa 100 vuoteen. Tämän työn referenssikohteista Töölönlahden pysäköintilaitoksen suunnittelukäyttöikä oli 50 vuotta ja salaisessa hankkeessa 100 vuotta. Alla olevassa taulukossa on kirjattu betonin XC-3 rasisluokan erot, kun suunnittelukäyttöikä kasvaa.

TAULUKKO 1. XC-3 rasisluokan muutokset suunnittelukäyttöön vaihtuessa. (Rudus 2013)

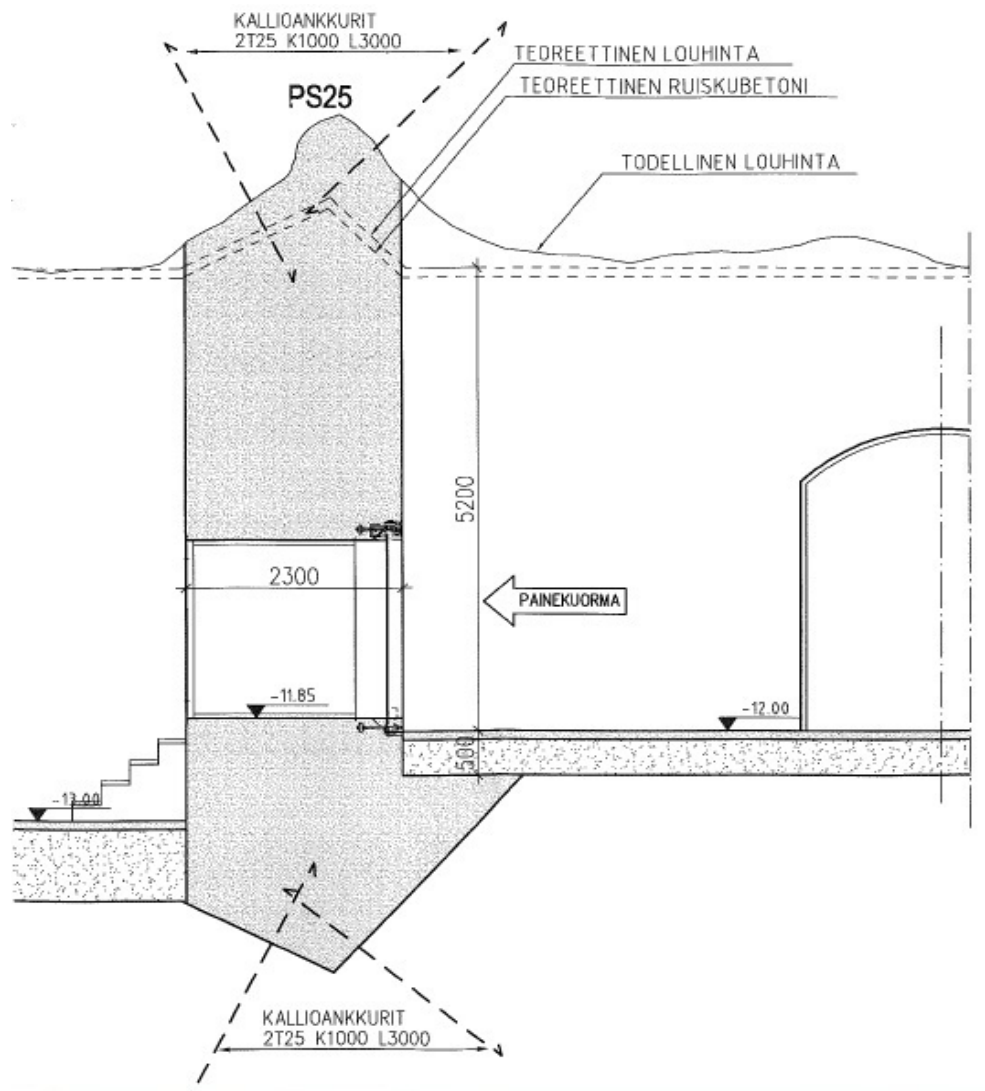
| KOOSTUMUKSET JA OMINAISUUDET | Suunnittelukäyttöikä 50 vuotta: | | | | | Suunnittelukäyttöikä 100 vuotta: | | | | |
|---|------------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | Hiilidioksidi | | | | | Hiilidioksidi | | | | |
| | X0 | XC1 | XC2 | XC3 | XC4 | X0 | XC1 | XC2 | XC3 | XC4 |
| Suurin v/s suhde | | 0,90 | 0,80 | 0,60 | 0,60 | | 0,90 | 0,80 | 0,60 | 0,60 |
| Vähimmäis- lujuusluokka | K15 C12/ 15 | K25 C20/ 25 | K30 C20/ 25 | K30 C30/ 37 | K35 C30/ 37 | K15 C12/ 15 | K25 C20/ 25 | K35 C20/ 25 | K40 C30/ 37 | K45 C30/ 37 |
| Vähimmäis- sementtimäärä (kg/m ²) | | 200 160 | 230 160 | 250 250 | 270 250 | | 200 160 | 230 160 | 250 250 | 270 250 |

5.3 Työvaiheet

Paineseinien rakentaminen käsittää useita eri työvaiheita ja ne noudattavat lähestulkoon samaa kaavaa seinästä toiseen. Alla on lueteltuna ja selitettynä paineseinän rakentamisen kaikki työvaiheet.

1. Paineuran louhinta

Paineseinien ja kallion rajapintaan louhitaan syvennys, joten seinien rajapinnat tavallaan uppoavat kallion sisään. Erillistä anturaa ei paineseiniin valeta, vaan koko seinä tehdään kerralla kalliosta kallioon. Uran ansiosta paineseinät ovat vahvempia rajapinnasta ja kestävät kovempia painekuormia.



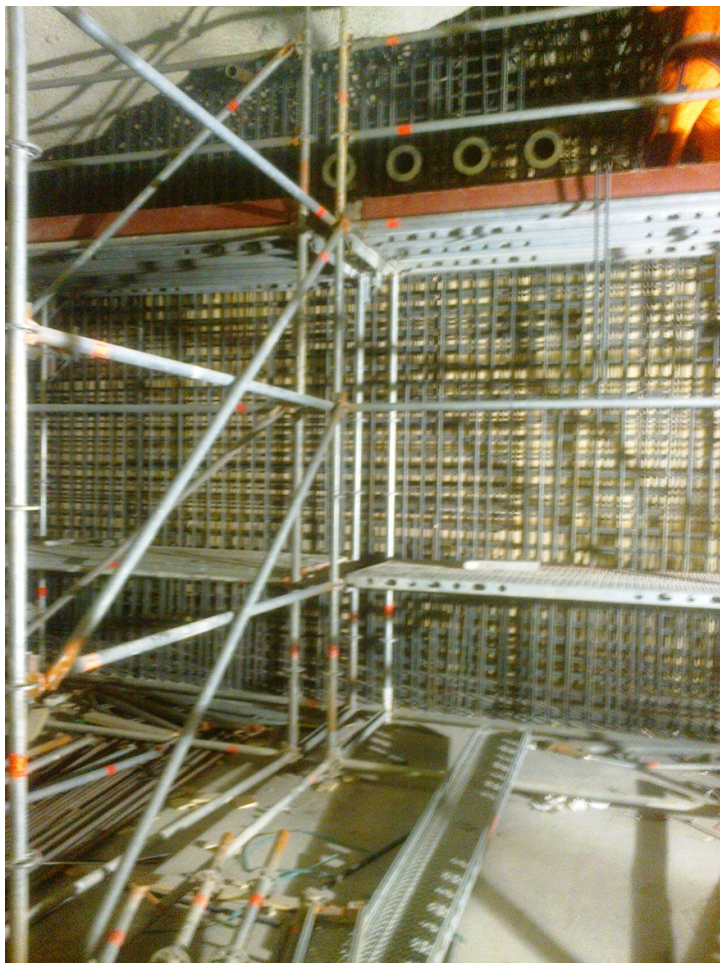
KUVA 4. Paineseinän leikkauskuva. Paineurat näkyvät syvennyksinä ylä- ja alaosassa (Pöyry Oy 2012)

2. Painuran auki kaivu ja putsaus

Lähes aina louhinnan jälkeen paineuran alapinta täytetään murskeella kulkemisen mahdollistamiseksi, joten seinän rakentamisen ensimmäinen vaihe on kaivaa louhittu ura auki ja putsata kalliopinta mahdollisimman puhtaaksi kaivinkoneella, lapiolla, suurtehoimuautolla ja paineilmapuhaltimella.

3. Telineet

Telineet kokoa siihen erikoistunut urakoitsija. Terästelineet rakennetaan seinän molemmin puolin noin 30- 40 cm etäisyydelle tulevasta muotin reunasta. Telineeltä hoidetaan rauditus, muottityöt, valu ja muotin purku. Ammattilaisen tulee tarkastaa ja hyväksyä telineet ennen niiden käyttöönottoa. Telineiden merkitys rakentamisen nopeudelle on merkittävä, koska niitä käytetään jokaisessa rakentamisen vaiheessa, joten on tärkeää kiinnittää huomiota niiden sujuvaan ja turvalliseen käytettävyyteen ja erityisesti kulkemiseen telineelle ja sieltä pois. Pääsääntöisesti telineet rakennetaan kerralla täyteen korkeuteen seinän molemmille puolille. Tietenkin jokainen kohde on ainutlaatuinen ja ennen telineityötä täytyy miettiä, onko hyödyllistä tehdä ensiksi vain toinen puoli ja myöhemmin toinen esimerkiksi tavarantoimitusta helpottaakseen vai voidaanko molemmat tehdä heti. Telineiden korkeus riippuu tulevan seinän korkeudesta ja voi olla muutamasta metrillä yli kymmeneen metriä korkea.



KUVA 5. Työteline paineseinän rakentamisvaiheessa (Lemminkäinen Infra Oy 2013)

4. Tartuntaterästen paikalleen mittaus, poraus ja juottaminen

Paineseinän uraan juotetaan kalliotartuntapultteja kahteen riviin yleensä metrin jaolla (KUVA 1). Tartuntoina käytettävien sinkittyjen harjaterästen läpimitat vaihtelee vaatimusten mukaan, mutta tutkimuksessa seurattujen seinien tartuntapultit olivat halkaisijaltaan 25 mm (A500HW) ja pituudeltaan kolme metriä sinkittyjä harjateräksiä. Uran putsauksen jälkeen mittamies merkitsee kalliotartuntojen paikat, joihin kallioporavaunu poraa reikien halkaisijan mukaiset reiät. Normaalisti paineseinissä tartuntasyvyys on kaksi metriä, eli pultti uppoaa kaksi metriä kallion sisään. Ahtaissa tai poravaunulle liian korkeissa paikoissa käytetään poraukseen käsikäyttöistä porakonetta.

Reiän halkaisija tulee olla noin 1,5 kertaa tartuntateräksen halkaisija, jotta pultin asennus on vaivatonta ja juotosmassaa tunkeutuu riittävästi pultin ympärille. Millintarkkoihin laskutoimituksiin ei kuitenkaan kannata aikaa haaskata vaan silmämääräinen tarkastelu riittää ja tärkeintä on, että reikä on tarpeeksi väljä pultille. Silloin asennus on vaivatonta ja juotosmassan leviäminen ympärille varmistettu.

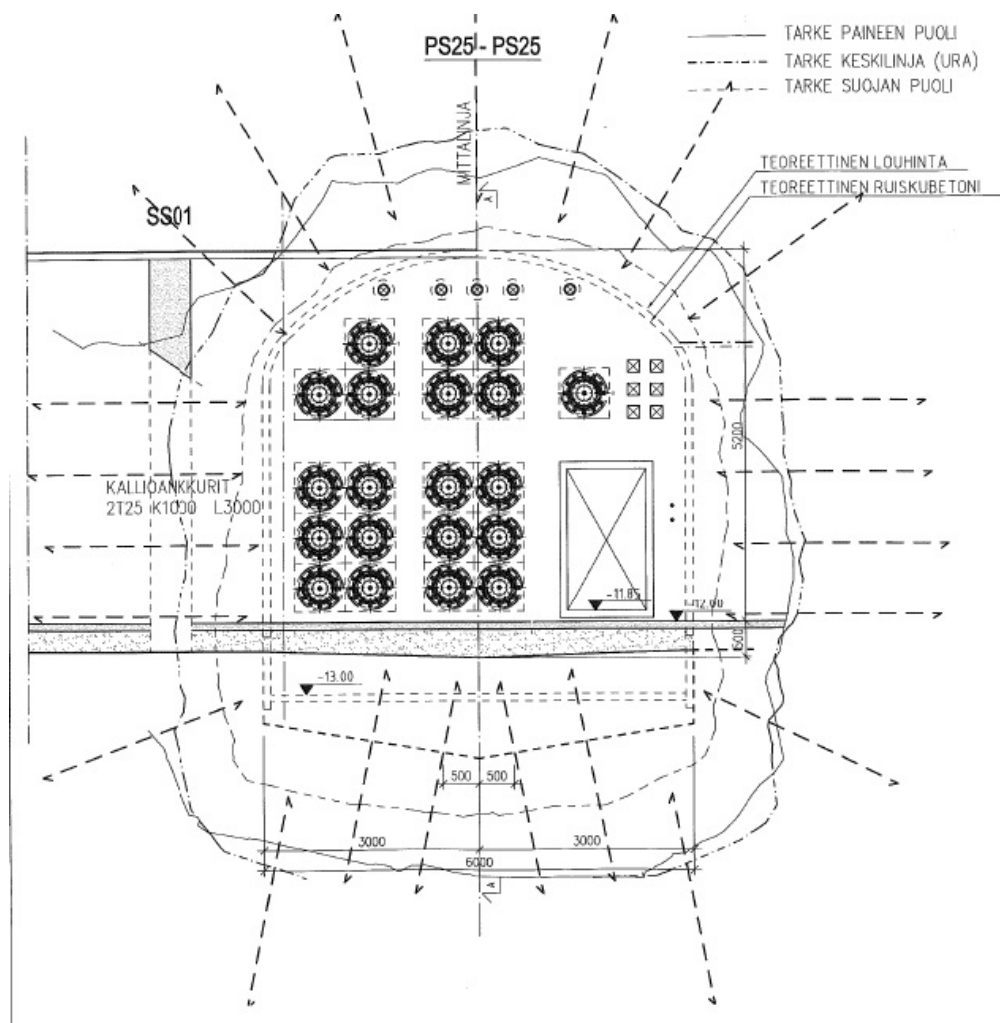
Poratut reiät pumpataan reiän pohjalta alkaen lähes täyteen sementtimassaa ja reikiin asennetaan käsin harjateräkset niin, että massaa valuu reiästä ulos, jolloin varmistetaan harjateräksen olevan kauttaaltaan sementin ympäröimä. Paras vaihtoehto juotosmassaksi on rapid -sementti. Sen nopean kovettumisen ansiosta seuraava työvaihe ja etenkin valu voidaan suorittaa mahdollisimman nopeasti, mikä on työmaan jatkuvassa kiireessä iso etu. Rapid -sementti on kuitenkin kalliimpaa, kuin yleissementti, jota voidaan käyttää yhtä hyvin aikataulun sen salliessa.



KUVA 6. Finnsementin rapid -sementti sopii tartuntaterästen kiinnitykseen. Mikrosementillä hoituu paineseinien injektointityöt (Finnsementti 2012)

TAULUKKO 2. Rapid-sementin ominaisuuksia (Finnsementti 2012)

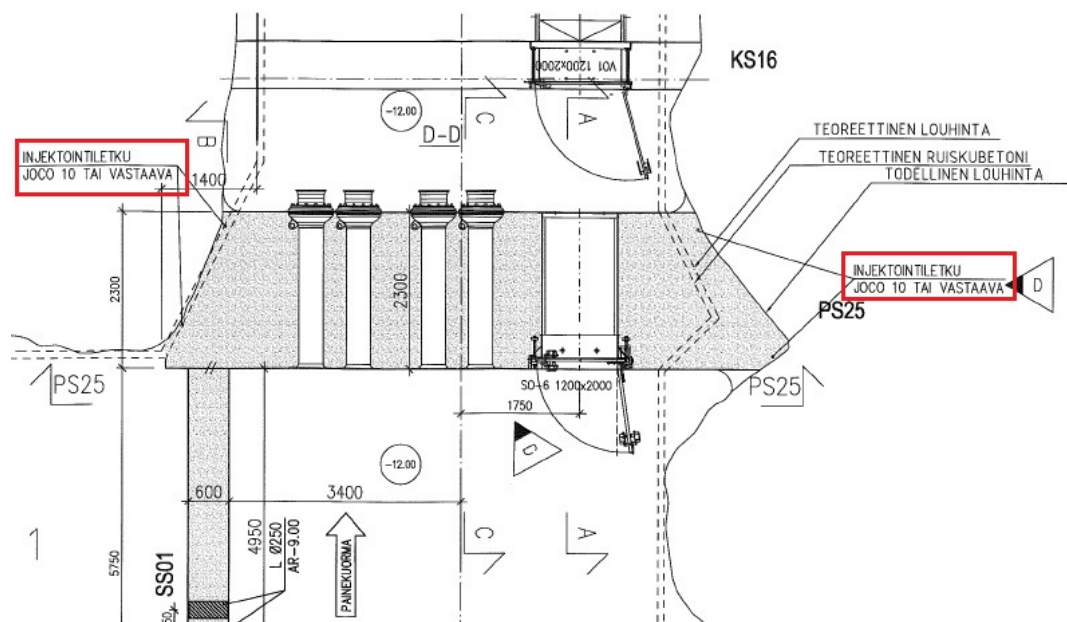
| Sementin ominaisuuksia | Tulokset | Standardin (SFS-EN 197-1) vaatimus |
|------------------------|-------------------------------|------------------------------------|
| Lujuus 1d | 17...23 MPa | ei vaatimusta |
| Lujuus 2d | 31...37 MPa | $\geq 20,0$ MPa |
| Lujuus 7d | 42...51 MPa | ei vaatimusta |
| Lujuus 28d | 50... 60 MPa | $\geq 42,5$ MPa ja $\leq 62,5$ MPa |
| Sitoutumisajan alku | 140...200 min | ≥ 60 min |
| Tilavuuden pysyvyys | 0...1,5 mm | ≤ 10 mm |
| Hienous (Blaine) | 450 ...530 m ² /kg | ei vaatimusta |
| Hehkutushäviö | - | ei vaatimusta |
| Liukenematon jäännös | - | ei vaatimusta |
| SO ₃ | 3,3...3,7 % | $\leq 4,0$ % |
| Kloridipitoisuus | $\leq 0,08$ % | $\leq 0,10$ % |
| Cr6+ | 0...2 mg/kg | ≤ 2 mg/kg |



KUVA 7. Paineseinän rakennepiirustuksesta erottuu selvästi kalliotartunnat, läpiviennit, paineventtiilit ja ovi. (Pöyry Oy 2012)

5. Injektointiletkun asennus

Injektointiletku Joco 10 tai vastaava kiinnitetään paineuraan kallioankkureiden läheisyyteen kahteen riviin kiertäen koko uran. Injektointiletkun päät käännetään seinän ulkopuolelle, joista syötetään myöhemmin injektointiainetta ja varmistetaan seinän lopullinen tiiveys. Väestönsuojan tiiveys varmistetaan tiiveyskokeella VTT:n toimesta ennen kohteen luovutusta.



KUVA 8. Injektointiletkujen sijainti paineurassa (Pöyry Oy 2012)

6. Varustelu

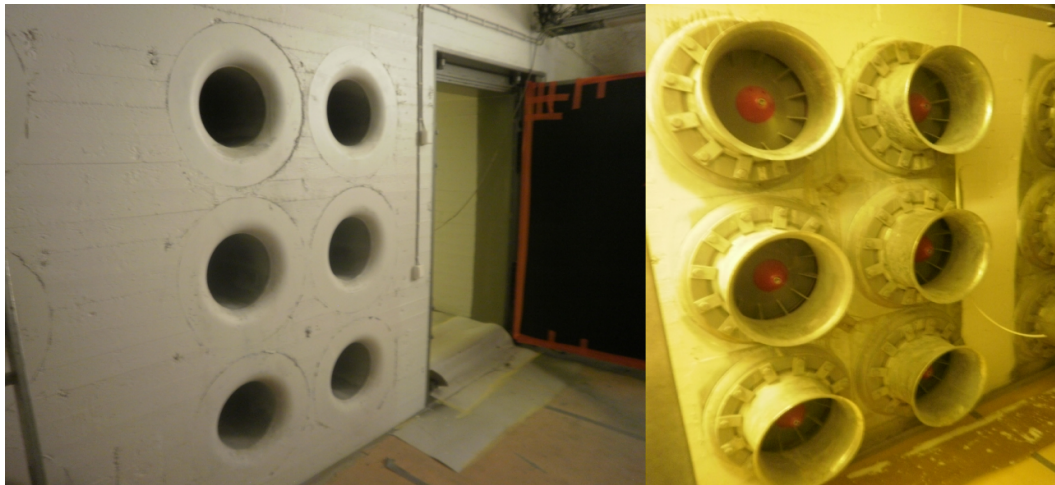
Varustelulla tarkoitetaan seinään tulevien läpivientikappaleiden, paineventtiilien ja ovi-en asennuksia (KUVA 2). Ovet asennetaan suunnitelmien mukaiselle paikalla hitsaamalla ne kiinni tukiteräksiin, jotka on niin ikään hitsattu kiinni kallioankkurointiteräksiin. Myös läpivientikappaleet asennetaan paikalleen käyttämällä aputeräksiä ja usein kappaleet on hitsattuna yhdeksi kokonaisuudeksi jo ennen lopullista asennusta, jotta saavutetaan oikea sijainti helpommin. Läpivientikappaleet ovat tehdasvalmisteisia ja väestönsuojakäyttöön tyyppihyväksytyjä. Vedessä tai maanvaraisen lattian alapuolella läpivientikappaleet ja virtausputket ovat aina joko haponkestävää terästä (HFe) tai kuparia (Cu) (Pöyry 2012)



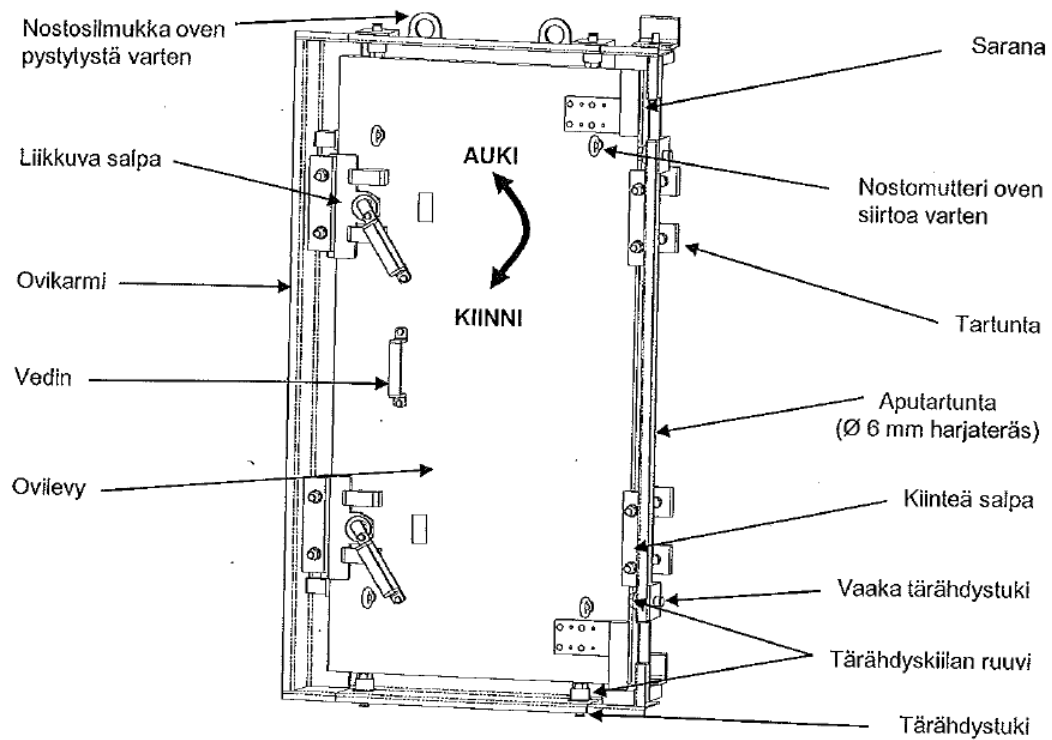
KUVA 9. Paineovi asennettuna tukiterästen päällä (Lemminkäinen Infra Oy 2011)



KUVA 10. Paineoven asennus tukiterästen avulla. Paineurassa näkyvät sinkatut kallio-tartuntateräket kahdessa rivissä (Lemminkäinen Infra Oy 2011)



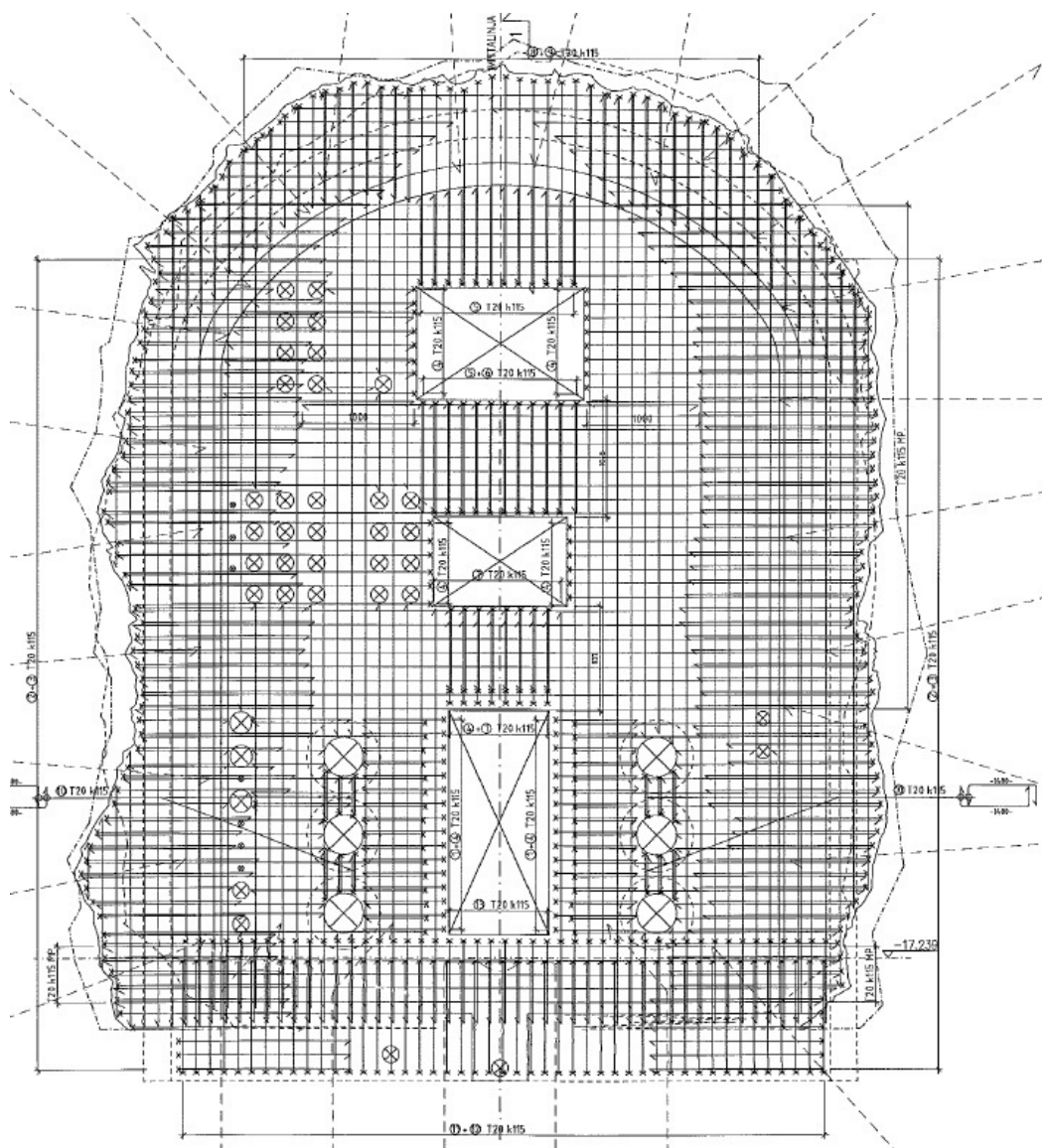
KUVA 11. Paineventtiili PSV-NS350, S355j2H HZn (ilma). Vasemmalla venttiili suojan ulkopuolelta, oikealla suojan sisäpuolelta (Lemminkäinen Infra Oy 2014)



KUVA 12. Suojaoven pääkomponentit (Temet Oy 2012)

7. *Raudoitus*

Raudoitetaan seinä molemmin puolin asentamalla ensin reunahakaset ja sen jälkeen pintateräksiset. Raudoitus on yleensä 20 mm harjaterästä ja reunahakaset on muotoiltava louhitun paineuran pohjan muotojen mukaan ja asennettava vaaditulle suojaetäisyydellä kalliosta. Teräksen laatu on oltava A500HW ja suojaetäisyys kalliota vasten on 50 mm, muuten 40 mm. Tämä vaatimus aiheuttaa sen, että jokainen hakanen on taivutettava erikseen oikeaan muotoon, joten raudoituksen ensimmäinen vaihe on erittäin hidasta työtä. Kuvasta 4 näkyy paineseiniä raudoitusperiaate ja massiivisuus. Raudoitus on suunniteltu molempiin suuntiin k150 mm jaolla, joten raudoitus on erittäin tiheä ja vaativa asentaa, kun kyseessä on 20 mm harjateräs.



KUVA 13. Painesenän raudoituspiirustus (Pöyry Oy 2012)



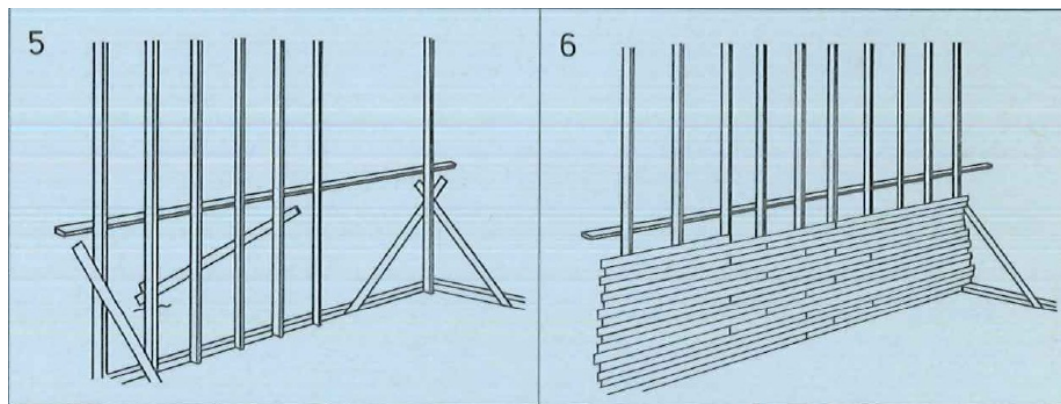
KUVA 14. Painesseinän rakentaminen raudoitusvaiheessa (Lemminkäinen Infra Oy 2011)

8. Muotti ja reunojen tiivistys

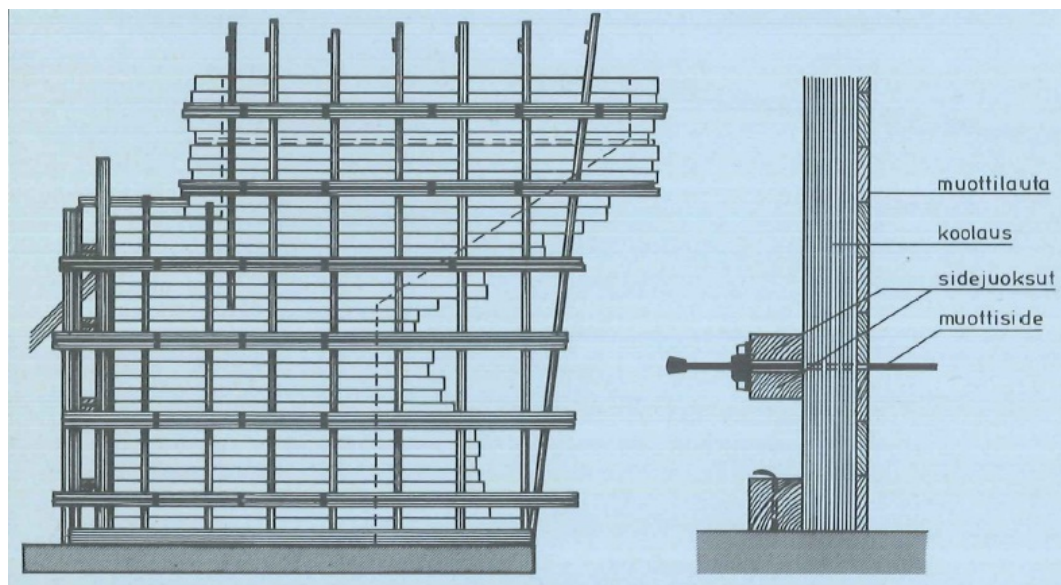
Muotin teko aloitetaan alhaalta ylöspäin heti kun raudoitus on valmis. Työjärjestys voidaan tehdä myös niin, että ensin tehdään muotin toinen pinta, ykkösmuotti valmiiksi, jonka jälkeen tehdään raudoitus. Viimeisenä suljetaan muotti tekemällä muotin toinen pinta eli kakkosmuotti.

Muotin pystykoolaus tehdään 47x100 mm puutavarasta jaolla k-20 cm. Koolaukseen kiinnitetään vaakasuoraan betonipinnassa käytetty 22x100 mm hienosahattu lauta. Betonikuormasta muotin molemmille puolille aiheutuva paine otetaan haltuun 10 mm paksuilla alumiinisilla muottisiteillä, jotka asennetaan muotin läpi. Muottisiteet kiristetään muottilukoilla muotin molemmilta puolilta vaakasuuntaisten 47x100 mm (k-65 cm) sidejuoksujen kohdalta, joita kiinnitetään kaksi rinnakkain niin, että muottisiteet mahtuvat menemään sidejuoksujen välistä. Muottisiteitä laitetaan noin 65 cm etäisyydelle toisistaan pysty- ja vaakasuunnassa.

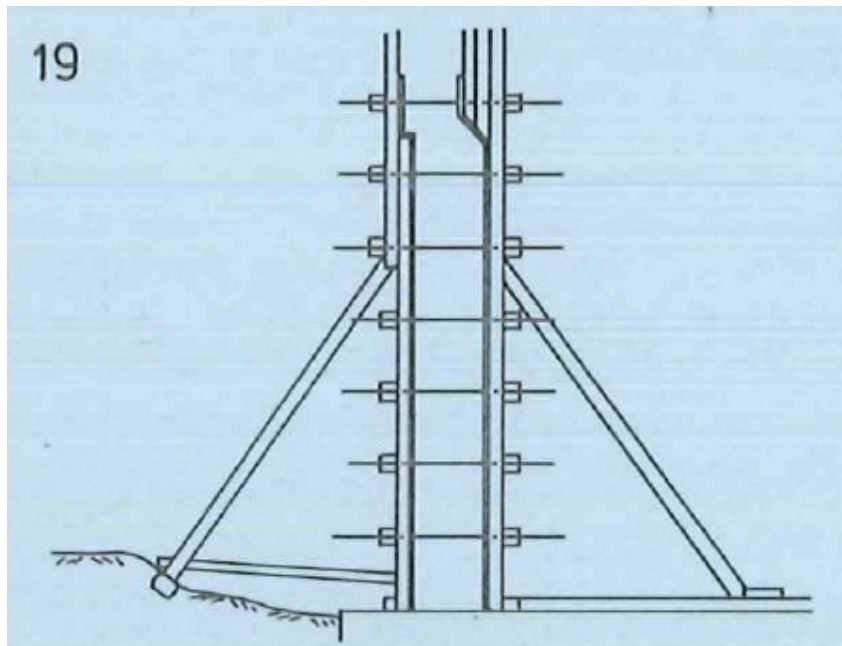
Lopuksi muotin yläosaan asennetaan riittävä määrä valuputkia, joista viimeiset betonit pumpataan seinän korkeimpiin kohtiin. Seinän korkeimpaan kohtaan laitetaan myös paineenpoistoputki, joka on ohut 20 mm sähköputki. Sen tarkoituksena on poistaa ilma betonin tieltä, jotta rakenteesta saadaan mahdollisimman tiivis. Lopuksi reunat tiivistetään uretaanivaahdolla, jolla varmistetaan muotin tiiveys kallion ja muottilaudoituksen rajapinnassa.



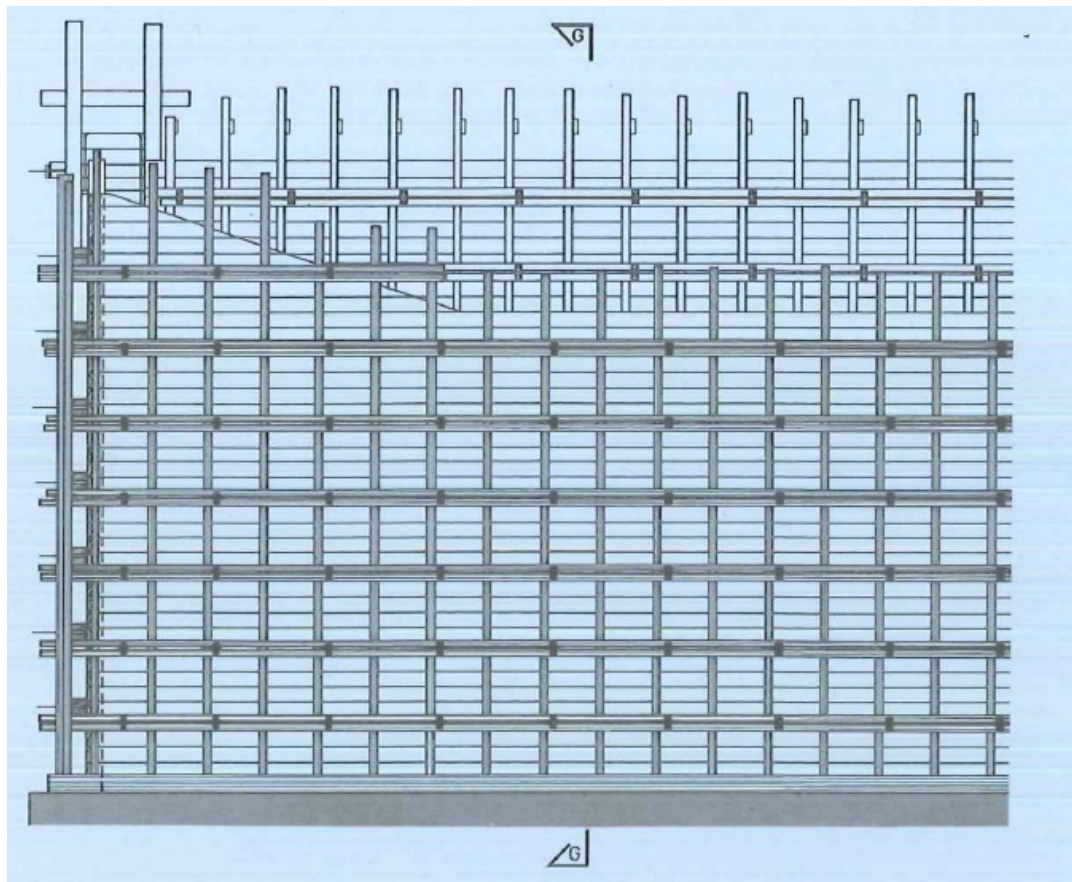
KUVA 15. Muottityön aloitus. Vasemmalla näkyy pystykoolaus ja oikealla koolaukseen kiinnitetty muottilaudoitus (Tie- ja vesirakennushallitus 1983)



KUVA 16. Muotin leikkauskuvassa lueteltuna muotin eri osat (Tie- ja vesirakennushallitus 1983)



KUVA 17. Leikkauskuva valmiista muotista ennen valua. Tunnelikohteiden seinämuotit eroavat kuvan muotista niin, että seinästä maahan ulottuvia vinotukia ei käytetä (Tie- ja vesirakennushallitus 1983)



KUVA 18. Valmis seinämuotti kuvattuna edestäpäin (Tie- ja vesirakennushallitus 1983)

9. Betonointi

Betonointi suoritetaan muottiin sahatuista valuaukoista, joita on hyvä laittaa korkeussuunnassa noin kahden metrin välein. On tärkeää muistaa riittävän hidas betonipinnan nousunopeus, noin metri tunnissa, jotta pumpattu betoni ehtii hieman kovettua ennen seuraavaa kuormaa. Siten muottiin ei kohdistu liikaa painetta ja vältetään muotin hajoamiselta. Liian nopea betonin nousunopeus voi aiheuttaa myös merkittäviä halkeamia seinän yläosaan, koska betonin ei anneta painua ja tiivistyä riittävän pitkää aikaa. Paineseinien paksun rakenteen ansiosta valussa voidaan käyttää betonin kiviaineksena 16 mm raekokoa ja S3 notkeutta. Betonin tiivistys tärysauvoilla muotin molemmilta puolilta voidaan suorittaa pääosin valuaukoista, koska tilaa on riittävästi. Betonoinnin viimeiset betonikuormat on syytä tilata 8 mm kiviaineksella, jotta betoni juoksee tiiviisti myös paineuran yläosaan. Viimeiset kuutiot on tärytettävä huolellisesti muotin kyljestä molemmin puolin siihen asti, kunnes muotin yläreunasta valuu hieman betoni ulos.

10. Muotin purku

Betonoinnin jälkeen tarkkaillaan, ettei seinän lämpötila nouse liian korkeaksi ja jäähdytetään tarvittaessa suihkuttamalla kylmää vettä seinälle. Muottilukot ja lankut voidaan poistaa vuorokauden kuluttua valusta, mutta laudoitusta on syytä pitää seinässä kiinni useamman vuorokauden ajan. Tunnelissa olosuhteet ovat samanlaiset päivästä toiseen, joten pakkas- ja sadepäivät eivät aiheuta ongelmia betonin kovettumisessa.

11. Injektointi

Injektoidaan seinä käyttämällä mikrosementtiä, joka tunkeutuu pienen raekoon ansiosta hyvin seinän pieniin tyhjiin kohtiin. Aine pumpataan sopivalla paineella injektointiletkun kautta seinän sisään, joka räjähtää paineen voimasta ja aine leviää seinän huokosiin. Pumpataan seinä tiiviiksi ja taitetaan letkun pää, jotta sementti ei valu letkusta ulos injektoinnin jälkeen. Mikrosementtejä on saatavilla eri raekokoja, mutta pääsääntöisesti 24 µm ja sitä pienemmät raekoot soveltuvat tehtävään hyvin.

12. Rajaruiskutus

Viimeistelynä kallion ja seinän rajapinta ruiskutetaan ruiskubetonilla, jotta saumoista tulee siistimmät ja tiiveys rajapinnassa lisääntyy. Ruiskutukseen soveltuu hyvin k-45 lujuusluokan kuitubetonimassa.

5.4 Varustetoimittajat

Väestönsuojarakenteiden asennettuja läpivientikappaleita, paineventtiileitä ja ovia toimittaa Suomessa harvinaisuuden takia pääsääntöisesti vain kaksi yhtiötä, Temet Oy ja Suoja-Expert Oy. Tutkimuksessa tarkkailtujen rakenteiden osat oli toimittanut Temet Oy.

Temet Oy on vuonna 1953 perustettu yritys, joka on erikoistunut erilaisten suojaratkaisujen tekemiseen maailmanlaajuisesti. Sen missiona on tarjota kehittyneitä suojaratkaisuja ihmisten ja yhdyskuntien tärkeiden toimintojen suojaamiseen onnettomuuksien sattua tai poikkeusolojen aikana (Temet Oy 2012). Tämän työn osalta Temet Oy oli toimittanut referenssikohteiden paine- ja kaasuseiniin ovet, paineventtiilit ja erilaiset läpivientikappaleet. Temet työllistää noin 90 henkilöä Suomessa.

Suoja-Expert Oy on kotimainen vuonna 1984 perustettu väestönsuojien tuotteita valmistava ja toimittava yritys. Suoja-Expert tarjoaa läpivientien ja ovien valmistamisen ja toimituksen lisäksi väestönsuojien suunnittelua ja konsultointia, vanhojen väestönsuojien korjaussuunnitelmia, väestönsuojien laitteiden asennuspalveluita sekä määräaikaistarkastuksia olemassa oleviin väestönsuojiiin. Yrityksessä työskentelee noin 15 henkeä.

Suoja-Expert Oy on toteuttanut useita kohteita ympäri Suomea. Yhtiön isoimpia toteutettuja kohteita ovat olleet Helsingin Kaivokadulla sijaitseva Makkaratalo, jossa väestönsuojan henkilömäärä on noin 1700 henkeä. Yhtiö on toimittanut väestönsuojien tuotteita myös Aalto-yliopiston, Kaisa-talon, Ruoholahden Technopoliksen ja Sipoon logistiikkakeskuksen väestönsuojiiin.

5.5 Rakentamisen potentiaaliset ongelmat

Paineseinärakentamisessa voi ilmaantua ongelmia, jos työvaihetta ei suunnitella huolella tai jos tekijöiden ammattitaito ei ole riittävä. Seuraavassa on listattuna mahdollisia rakentamisen ongelmakohtia, jotka toteutuessaan aiheuttaisivat kustannusylityksiä tai aikatauluviivästyksiä koko projektille.

Seiniin asennettavilla väestönsuojan varusteilla on pitkä toimitusaika ja usein kilpailutus kestää kauan ison hankintahinnan takia. Jos näiden osien hankinta viivästyy alussa liikaa, koko seinän rakentaminen pysähtyy, koska osia ei voi korvata millään hyllytavaramallilla. Paineseinien rakentaminen on saatava heti alusta lähtien kulkemaan runkoaikataulun mukaisesti, koska pitkän rakennusajan takia viivästyksiä on erittäin vaikea ottaa kiinni.

Raudoituksen huolimaton asennus paineuran lähellä, joka huomataan vasta raudoitustarkastuksessa, aiheuttaa viivästymistä seuraavan työvaiheen aloitukseen ja koko seinän valmistumisaikaan. Paineuraan lisäraudoituksen asentaminen muun raudoituksen ollessa valmis on erittäin työlästä ja vaativaa. Se vaatii myös lähes aina osan raudoituksen purkua, jotta uran läheisyyteen päästään käsiksi. Muutaman päivän viivästykset raudoituksen valmistumisen viivästymisen johdosta saattavat kuulostaa pieniltä, mutta raudoitusrakentajan kanssa sovittu aloituspäivä siirtyy eteenpäin raudoituksen venyessä. Odotus on hukkaa ja lisää kustannuksia.

Ongelmat muottilaudoituksen kestävyudessa ja tiiveydessä valun aikana saattavat aiheuttaa kustannuksia, viivästymisiä tai jopa tapaturmia. Muotin vuotaminen reunoista aiheuttaa tarpeettomia viivästyksiä muutenkin pitkään valuun, kun betonautoja ja pumppeja joudutaan seisottamaan pidempään muotin korjaustöiden takia. Juuri paineseinän muotin tekoon kannattaakin valita kokenut aliurakoitsija, jolla on kokemusta vastaavien seinien tekemisestä. Täydellistä muotin hajoamista ei tapahdu juuri koskaan, mutta kokemuksen tuoma varmuus auttaa tekemään tiiviin ja kestävästi muotin haastavissakin tunnelikohteissa.

VSS varusteiden sijainnin, määrän ja laadun tarkastaminen ennen muotin sulkemista voi välttää pahan ongelman aiheutumisen. Yleensä venttiilien ja muiden tekniikkaläpivientien määrä ja paikka on tarkkaan suunniteltu ja niiden korjaaminen betonoinnin jälkeen

on mahdotonta. Pieni silmäilykierros uusimman piirustuksen kanssa ei vie paljoa aikaa työnjohdolta ja tarkemittauksien tekeminen käy mittamieheltä muutamassa minuutissa.

6 TUTKIMUSTULOKSET

6.1 Tehtäväsuunnitelmamalli

Työn tärkeimpänä tuloksena oli luoda tehtäväsuunnitelmamalli paineseinärakentamiseen. Liitteenä oleva malli auttaa työnjohtoa selviytymään vaativasta paineseinän rakentamisesta helpommin, ottamalla huomioon kaikki työn vaiheet ja poistamalla virheiden, inhimillisten erehdysten ja unohdusten määriä.

Tehtäväsuunnitelmamalli koostuu kolmesta pääkohdasta. Tehtävät ennen työvaiheen aloitusta, rakentamisen aikana ja seinän valmistuttua. Se varmistaa, että suunnitelmat on läpikäyty ja aikataulu on laadittu kohteelle. Sen avulla pääsee varmuuteen myös siitä, että paineseinän rakentamiseen tarvittavat materiaalit, koneet ja työvoimaa on hankittu ajoissa ja tarpeeksi.

Työn aikaiseen tuotannonohjaukseen se antaa lähinnä vinkkejä, mitä työnjohtajan on hyvä seurata, jotta virheiltä vältytään tai niihin osataan puuttua hyvissä ajoin. Työnjohtajan kannalta seinän toteutusvaihe on vähiten aikaa vaativa.

Työn jälkeen on tärkeä kerätä työvaiheesta tehdyt pöytäkirjat ja materiaalitodistukset talteen ja tehdä betonointipöytäkirja. Lemminkäisen laatu järjestelmä ja urakkasopimukset edellyttävät kyseisen dokumentaation tekemistä ja säilyttämistä. Huolellisesti täytetyt pöytäkirjat ovat tärkeä osa mahdollisesti tulevaisuudessa ilmenevien erimielisyyksien ratkaisemiseksi.

Tehtäväsuunnitelmamalli on esitetty liitteessä 1.

6.2 Aikataulutarkastelu

6.2.1 Tarkastelun toteuttaminen

Aikatauluja tutkittiin vertailemalla Töölön pysäköintilaitokseen rakennettujen paine- ja kaasuseinien suunniteltuja ja toteutuneita työvaiheaikatauluja. Työmaan aikana laadit-

tuihin Planet -aikatauluihin oli merkitty sekä suunniteltu työvaiheen aikataulutus, jonka päälle oli kirjattu toteutuneet aikataulut. Alla on esitetty kahden paineseinän ja yhden kaasuseinän aikataulut.

6.2.2 Kaasuseinä 38

Kaasutiivis seinä numero 38 on poikkeuksellinen seinä, koska rakenteeseen liittyy osa betoniholvia. Holvi on toteutettu kaasuseinän yhteydessä ja siitä johtuu sen poikkeuksellisen pitkä läpivientiaika.

Liitteessä 2 olevasta aikataulusta näkee, että aloitus on lähtenyt suunnitellun mukaisesti liikkeelle, mutta muotin tuplausvaiheessa rakentaminen on keskeytynyt, jonka takia valmistuminen on venähtänyt yli kaksi viikkoa suunnitellusta. Syytä rakentamisen keskeytymiselle ei saatu selville.

Kaasuseinä 38 on hyvä esimerkki poikkeuksellisen muotonsa ansiosta tuomaan esille sitä, kuinka tärkeää huolellinen suunnittelu ja ennakointi ovat varsinkin epätavallisissa työvaiheissa, jotta pysytään suunnitellussa aikataulussa.

6.2.3 Paineseinä 39

Liitteessä 3 olevan kohteen rakentaminen on viivästynyt 8 vuorokautta suunnitellusta ja siihen löytyy kaksi selkeää syytä. Ensimmäinen on aloituksen viivästyminen neljällä päivällä ja toinen rakentamisen keskeyttäminen 9 vuorokauden ajaksi toisen työvaiheen takia. Kyseisen seinän kohdalla keskeytymisen oli aiheuttanut villan puhallus kohteen lähellä, jonka takia seinän rakennustyöt oli keskeytettävä. Tunteuttomista syistä johtuen tämä ratkaisu koettiin parhaaksi toteutustavaksi.

Lean -filosofian mukaisen tuotannonohjaustyökalun Last Plannerin avulla työvaiheiden aloitukset sataisin paremmin suunnitellusti käyntiin, koska sen avulla on mahdollista pitää paremmin huoli siitä, että edellytykset työvaiheen aloitukselle on olemassa.

Muuten paineseinä 39:n työvaiheet ovat sujuneet ripeämmin kuin on suunniteltu, mutta edellä mainitut syyt venyttivät sen valmistumista ja seuraavan vaiheen aloittamista työmaalla.

6.2.4 Painesinä 40

Painesinä 40 on malliesimerkki siitä, miten hyvin suunniteltu ja organisoitu paineseinärakentaminen johtaa parhaimmillaan. Suunniteltu ja toteutunut aikataulus kulkee lähes käsi kädessä ja toteutuksessa on jopa pystytty hieman lyhentämään laudoituksen, raudoituksen ja varustelun läpimenoaikoja.

Tarkoitus olisi, että tämän tutkimuksen tuloksena syntynyt tehtäväsuunnitelmamalli auttaisi jokaisen paineseinän rakentamisen onnistumiseen paineseinän 40 kaltaisesti.

PS 40 aikataulu on esitetty liitteessä 4.

6.3 Toteutuneet ongelmakohdat

Salaisen kohteen paineseinien rakentamisessa ilmeni muutamia vastoinikäymisiä, joita ei välttämättä olisi tapahtunut, jos käytössä olisi ollut laadittu tehtäväsuunnitelmamalli. Näitä vastoinikäymisiä olivat mm. kalliotartuntojen paikkojen väärä sijainti yhdessä paineseinässä, jolloin osa kalliotartunnoista ei mahtunut muotin sisään, kun sen rakentaminen aloitettiin. Virhe aiheutti viivästymistä aikatauluun ja vaikeutti muotin tekoa. Ongelmaa ei olisi päässyt tapahtumaan, jos paikat olisi tarkistettu jo ennen porausta ja pulittusta.

Painesinä 15 rakentamisen alkuvaiheessa tapahtui huolimattomuusvirhe, joka aiheutti ongelmia ja lisäkuluja kyseiselle työvaiheelle. Paineura sijaitsi 4 metriä syvän kallioseinän pohjalla ja sinne oli tilattu poravaunu poraamaan kalliotartunnoille reiät. Muuta kulkua ei uran pohjalle ollut ja tarkoitus oli nostaa poravaunu työkohteeseen työmaan kurottajalla. Kukaan ei ollut ottanut huomioon kurottajan nostokykyä kyseisillä etäisyyksillä. Kurottaja ei jaksanut tehdä nostoa ja seuraavana päivänä oli tarkoitus aloittaa seuraava työvaihe tartuntojen jälkeen. Heinäkuisena perjantapäivänä vahvemman, mut-

ta tunneliin sopivan nosturiauton saaminen ei ollut helppoa, joka aiheutti viivästyksiä. Kyseinen seinä sijaitsi työmaan kannalta keskeisellä paikalla, joten seinän valmistumisen viivästyminen aiheutti viivästyksiä niin tuleviin lattiavaluihin, kuin seuraavaan holvivaluun. Työmaan kiireisessä runkovaiheessa päivien viivästyksiin tyhmien virheiden takia ei ole varaa ja tavoitteena tulevaisuuteen olisi, että tehtäväsuunnitelmalla voitaisiin välttää kyseiset virheet.

Kolme viimeistä paineseinää jouduttiin raudoittamaan hieman kokemattomimpien raudoittajien kanssa ja siitä aiheutui aikatauluviivästyksiä työsuoritteiden (kg/h) ollessa selvästi huippuammattilaisia alhaisempia. Myös virheet, kuten reunahakasten asentaminen paineuraan oli tehty huonosti ja suojaetäisyyttä kallioon oli jäänyt liikaa. Siitä syystä jouduttiin asentamaan lisäteräksiä uraan, joka aiheutti viivästymisiä. Lisäterästen asentaminen on myös hyvin vaarallinen työvaihe ahtaiden paikkojen ja terävien rautojen takia, joten työntekijä loukkaantumisriski kasvoi samalla. Tapaturman sattuessakin kustannukset lankeavat pääurakoitsijalle, joten tällaisia työvaiheita pitäisi välttää viimeiseen asti.

Vastaavan mestarin Pekka Illikaisen mukaan paineseinien varusteiden hankinta oli viivästynyt tavoitteesta salaisessa kohteessa. Kohde, jossa paine- ja kaasuseiniä on paljon ja ne ovat sijainniltaan hankalassa paikassa, pitäisi niiden rakentaminen aloittaa mahdollisimman ripeästi. Rakennusaikana tulee kuitenkin useita takaiskuja ja viivästyksiä, joihin turhaa aikaa kuluu, joten sitä ei ole varaa tuhjata projektin alussa hankintojen viivästytykseen.

Tutkimuskohteiden paineseinien rakentamisessa oli useita muitakin haasteita. Näitä oli mm. seinien hankala sijainti eri tasoilla, joten tavaran haalaus oli työlästä. Varusteluvaiheessa ongelmia aiheutti nostokorkeuden puute, pitkät nostoetäisyydet ja tila-ahtaus. Betonointivaiheessa haasteita aiheutti tiheä raudoitus, seinän täyteen saaminen ja pitkä valun kesto, joten varamiehistön ja kaluston varaaminen oli välttämätöntä lähes joka betonointia varten. Huolellisen suunnittelun merkitys kasvaa, kun mahdollisia ongelma-kohtia on näin paljon. (Aitto-Oja 2014)

6.4 PS 25 kustannukset

Tutkimuksessa tarkasteltiin myös salaisen hankkeen paineseinää numero 25 kustannusten osalta. Tutkimuksessa oli tarkoitus selvittää kyseiseen seinään budjetoidut rahat ja verrata niitä toteutuneisiin kustannuksiin. Paineseinä 25 on isokokoinen noin 60 m² ja 156 m³ kokoinen seinä, jossa on normaalia selvästi enemmän kalliita paineventtiileitä.

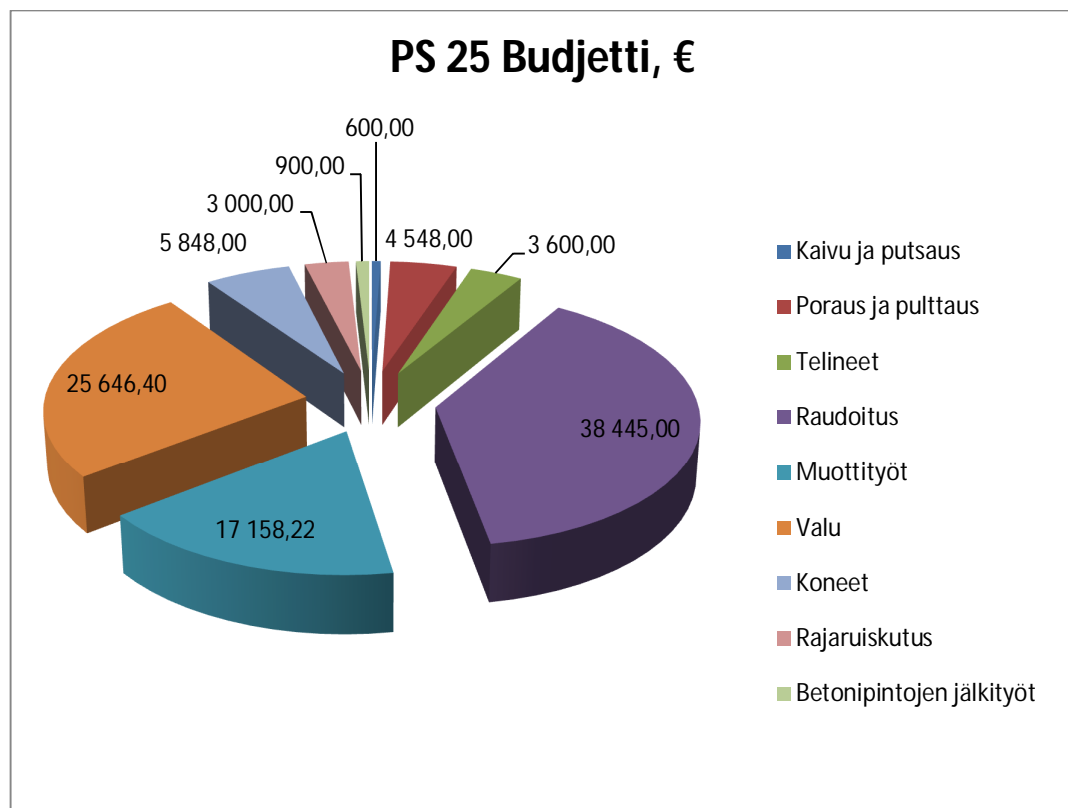
Kustannusten laskeminen aloitettiin kyseisen seinän määriä laskemalla. Työn aikaisesta dokumentaatiosta ja piirustuksista saatiin selville tarkat määrät betonikuutioista, raudoituskiloista, muottineliöistä, tartuntojen määrä ja porametrit. Loput määrät, kuten kaivu- ja putsautunnit sekä telinetyöhön kulunut aika arvioitiin mahdollisimman lähelle totuutta.

Määrien selvittämisen jälkeen katsottiin budjetoitu yksikköhinta laskennan aikaisista dokumentaatioista, jotka kertomalla ja yhteen laskemalla saatiin selville kyseiselle seinälle budjetoitu rahamäärä. Jokaisesta työvaiheesta laskettiin oma hinta molemmissa vaiheissa.

Toteutuneista kustannuksista saatiin tarkka tieto poimimalla työnaikaiset laskut esiin Lemminkäisen arkistoista paineseinän rakentamisajalta. Laskuihin oli merkitty erittäin hyvin PS 25:n toteutuneet määrät, joten niitä vertailemalla työnjohdon tekemiin laskelmointeihin varmistuttiin siitä, että määrät pitivät paikkansa. Kustannustarkastelussa ei otettu huomioon VSS varusteita niiden puutteellisen laskentatietojen takia. Laskutoimitukset on esitetty liitteissä.

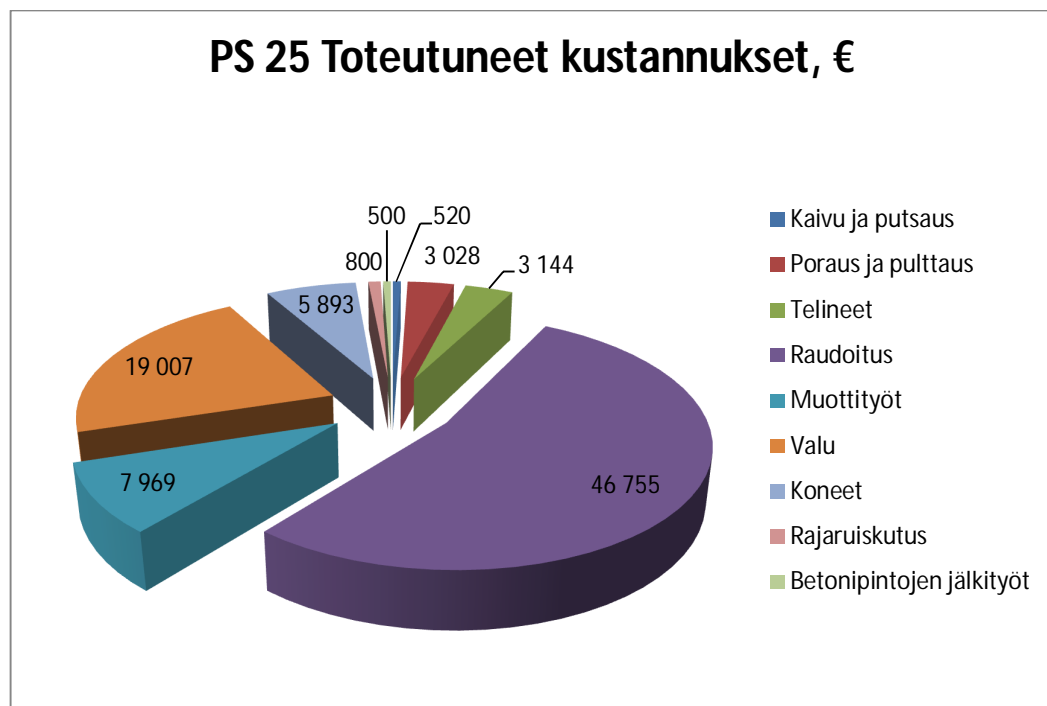
Tulokset kustannustarkkailusta on esitetty alla ympyräkaavioin ja pylväsdiagrammein.

Kuvan 19 ympyräkaavioon on laskettu ja kirjattu kuinka paljon rahaa on varattu laskentavaiheessa jokaiselle työvaiheelle paineseinän rakentamisessa. Ilman VSS varusteita tehty tarkastelu osoittaa, että raudointi, muottityöt ja betonointi ovat kalleimpia työvaiheita.



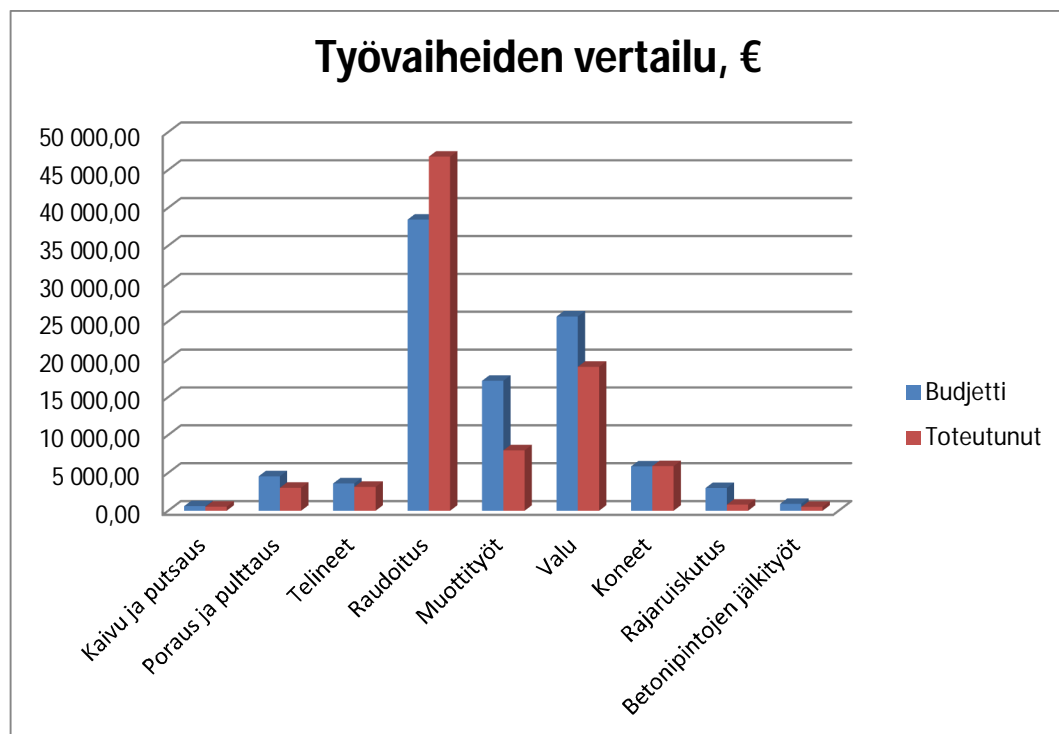
KUVA 19. Painesinä 25 urakkalaskentavaiheen kustannusarvio (Lemminkäinen Infra Oy 2013)

Kuvassa 20 ympyräkaavioon on merkitty jokaisen työvaiheen toteutuneet kustannukset. Kaaviosta voi todeta, että raudoitukseen on kulunut budjetoitua enemmän rahaa, mutta muottitöissä ja betonoinnissa on päästy plussan puolelle, joten kokonaisuus on pysynyt hyvin hallussa.



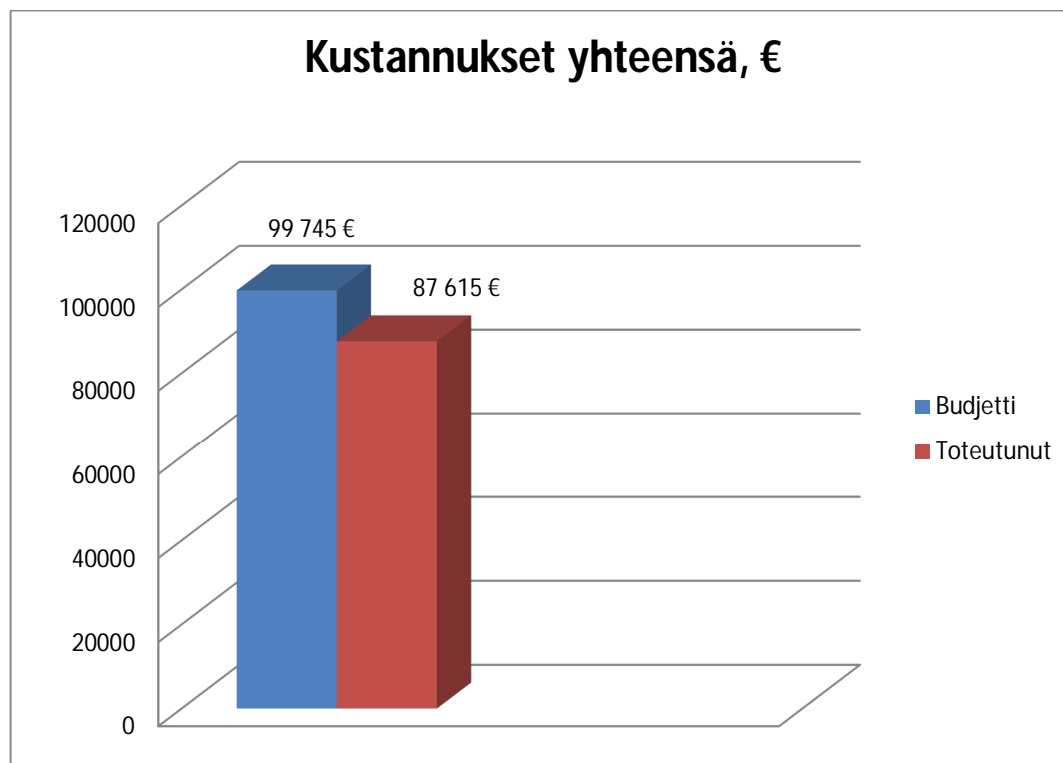
KUVA 20. Toteutuneiden kustannusten jakautuminen paineseinä 25:n rakentamisessa (Lemminkäinen Infra Oy 2013)

Kuvaan 21 on havainnollistettu pylväsdiagrammeilla eri työvaiheiden kustannuseroja laskennasta toteutukseen.



KUVA 21. Kustannusten vertailu työvaiheittain (Lemminkäinen Infra Oy 2013)

Lopuksi kuvassa 22 on esitetty kokonaisuuksien vertailu. Kuten pylväsdiagrammeista huomaa, on toteutukseen kulunut noin 12 000 € budjetoitua vähemmän rahaa, jos ei oteta huomioon VSS varusteita. Diagrammin osoittaa, että Lemminkäisellä paineseinän rakentaminen osataan tehdä kustannustehokkaasti.



KUVA 22. Yhteiskustannusten vertailu budjetin ja toteutuneiden kesken (Lemminkäinen Infra Oy 2013)

7 JOHTOPÄÄTÖKSIÄ

Tutkimuksessa selvisi, että tehtäväsuunnitelmamalli on hyödyllinen työkalu ongelmien ja unohdusten välttämiseksi. Sen avulla rakentamisketju voidaan käydä läpi tutun pohjan avulla jo etukäteen ja huomioida pienetkin detaljit, jotta vältetään pienet vastoinkäymiset. Salaisessa kohteessa paineseinien rakentamisesta vastannut työmaainsinööri Perttu Aitto-Oja kertoi haastattelussa (2014), että kaikki paineseinän rakentamisen työvaiheet tulisi käydä mielessä ennen toteuttamista. Tehtäväsuunnitelmamallin tulisi tulevaisuudessa hoitaa tämä tehtävä, koska pelkästään ajattelutasolla tehty läpikäynti ei ole yhtä tehokas keino kuin paperille kirjaaminen.

Maanalaisessa paineseinärakentamisessa on useita hankalia rakennusvaiheita, jotka vaativat huolellista suunnittelua. Seinien sijainnit ahtaissa tunneleissa aiheuttavat erilaisia ongelmia jokaisen seinän kohdalla eikä aina huolellinenkaan suunnittelu auta selviytymään työvaiheen läpi ilman vaikeuksia. Siitä syystä paineseinien työvaiheesta vastaavan työnjohtajan on oltava usein läsnä työkohteessa ja reagoitava nopeasti mahdollisiin ongelmiin. Hyvä ennakointikyky onkin tärkeä osa kyseiselle työnjohtajalle.

Tutkimuksen johtopäätöksenä voi todeta, että paineseinärakentaminen on Lemminkäisellä hyvin halussa kustannusten ja aikataulun osalta eikä siihen isoja korjauksia ole tarve eikä pysty tekemään. Kokeneet työmaan johtohenkilöt ja samojen aliurakoitsijoiden kanssa pitkään jatkunut yhteistyö on tehnyt paineseinärakentamisesta sujuvan ketjun, jossa jokaisen vaiheen työsuoritteet ja kustannukset tiedetään jo etukäteen hyvin tarkkaan. (Aitto-Oja 2014) Pienien yksityiskohtien korjaaminen tehtäväsuunnitelmalla voi jatkossa säästää jokusen euron tai tunnin, ja tehdä paineseinärakentamisesta virheettömän ketjun.

Paineseinien rakentamisjärjestys tulisi suunnitella huolellisesti niin, että se häiritsee työmaan toimintaa mahdollisimman vähän. Työvaiheen läpimenoaikaa voisi lyhentää limittämällä työvaiheita enemmän. Esimerkiksi raudoitusta ja laudoitusta voi tehdä limittäin tietyn rajan jälkeen häiritsemättä toisen työvaiheen edistymistä. Myös alkuvaiheessa tartuntojen juottaminen ja injektointiletkun asennus on mahdollista tehdä samanaikaisesti, jos resurssit antavat myöden. Näin saataisiin lyhennettyä työmaalla olevia tulppakohtia useilla vuorokausilla.

Last Planner -tuotannonohjausjärjestelmän avulla maanalaista väestönsuojarakentamista voi kuitenkin kehittää niin, että aikataulutarkastelussa esiintyneet työvaiheen aloituksen viivästymiset saataisiin karsittua hoitamalla edelliset työvaiheet ja varusteiden hankinta jo hyvissä ajoin ja työvaiheen aloituspäivä olisi koko työmaan johdon tiedossa hyvissä ajoin ennen aloitusta.

8 YHTEENVETO

Yhteenvetona voi todeta, että tutkimuksen tuloksena tehty tehtäväsuunnitelmamalli on hyödyllinen työkalu paine- ja kaasuseinärakentamisesta vastaavalle työnjohtajalle. Maan alla rakennetuissa kohteissa on useita erilaisia ongelmapaikkoja, joten jokaisen seinän toteutuksen suunnittelu ja ylöskirjaaminen auttaa ongelmien tunnistamisessa ja niiden välttämisessä.

Lemminkäinen Infra Oy:n maanalaisten paineseinien rakentaminen on kuitenkin kokeneiden tekijöiden ja työmaan johdon takia hyvällä tasolla ja potentiaaliset ongelmakohdat tunnistetaan usein hyvissä ajoin ja niihin osataan varautua aikaisin.

Muutamilla kehitettävillä asioilla paineseinärakentamisesta voidaan hävittää pienetkin ongelmat ja hukat, jonka avulla työvaiheesta saataisiin tehtyä vielä tehokkaampi. Last Planner -tuotannonohjausjärjestelmän käyttö tuo apua työvaiheen aloitusedellytysten varmistamiseen, joka on tärkeää työmaiden tiukkojen aikataulujen takia. Last Plannerin käyttö on yhtiöllä melko vähäistä ja tehotonta, joten sen tehokkaampi käyttö voi tuoda tehokkuutta kyseiseen rakennusvaiheeseen.

Jälkilaskennassa ilmeni, että Lemminkäisellä pystytään pysymään hyvin budjetin raameissa paineseinärakentamisessa. Merkittävimmistä kustannuseristä ainoastaan raudoituksen osalta kustannukset menivät tappion puolelle, mutta betonoinnin ja muottitöiden osalta saavutetut budjetin alitukset kompensoivat kokonaistuloksen positiiviselle puolelle.

Lean construction -ajattelutavan soveltamista paineseinärakentamiseen voi hyödyntää tehokkaimmin Last Planner -tuotannonohjausjärjestelmää käyttämällä, jonka avulla työvaiheen aloitusedellytykset varmistetaan hyvissä ajoin työmaaorganisaation tietoon. Lean -periaatteen mukainen kaiken hukan poistaminen onnistuu ainoastaan ajankäytön hukkaa pienentämällä. Työvaiheiden limittäminen voi vähentää työvaiheen läpivientiaikaa ja tuoda säästöjä. Materiaalihukkaa on vaikea tunnistaa paineseinärakentamisessa, koska kalliit VSS -varusteet tilataan aina mittatilaustyönä. Laidoituksen ja raudoituksen hukkamäärät eivät ole kovin merkittäviä, koska ison työmaan ansiosta ylimääräiset teräksiset ja puutavara voidaan käyttää tuleviin rakenteisiin.

LÄHTEET

Aitto-Oja, P; Lemminkäinen Infra Oy. 2014. Suullinen tiedonanto. Paineseinärakentaminen työmaainsinöörin näkökulmasta, 28.4.2014, Helsinki.

Illikainen, P; Lemminkäinen Infra Oy. 2014. Suullinen tiedonanto. Paineseinärakentaminen työmaapäällikön näkökulmasta, 22.4.2014, Helsinki.

Koskela, L. & Koskenvesa, A. & Sipi, J. 2011. Työmaan toimiva tuotannonohjaus. Kouvola: Rakennusteollisuuden Kustannus Oy.

Koskenvesa, A. & Sahlstedt, S. 2011. Rakennushankkeen ajallinen suunnittelu ja ohjaus. Tampere: Rakennustieto Oy.

Last Planner -menetelmä tehostaa rakennushankkeiden läpiviemistä. 2004. Rakennuslehti 2004.

Lemminkäinen Infra Oy. 2011. Toimintajärjestelmä: projektisuunnitelmamalli.

Merikallio, L. & Haapasalo, H. 2009. Projektituotantojärjestelmän strategiset kehittämiskohteet kiinteistö- ja rakennusosalalla.

Sisäasiainministeriön asetus väestönsuojien teknisistä vaatimuksista ja laitteiden kunnossapidosta. RT SM-21515.

<https://www.rakennustieto.fi/kortistot/tuotteet/100177.html.stx>

Temet Oy:n internetsivusto. <<http://vsp.temet.fi/>>. Luettu 25.1.2014

Valtioneuvoston asetus väestönsuojista. RT SM-21508.

<https://www.rakennustieto.fi/kortistot/tuotteet/107475.html.stx>

Valtioneuvoston asetus väestönsuojan laitteista ja varusteista. RT SM-21509.

<https://www.rakennustieto.fi/kortistot/tuotteet/107477.html.stx>

LIITELUETTELO

Liite 1: Tehtäväsuunnitelmamalli

Liite 2: Planet -aikataulu KS 38

Liite 3: Planet -aikataulu PS 39

Liite 4: Planet -aikataulu PS 40

Liite 5: Luottamuksellinen

Liite 6: Luottamuksellinen

TEHTÄVÄSUUNNITELMAMALLI, PAINESEINÄT**ENNEN TYÖN ALOITUSTA:****KUITTAUS:**

| | |
|--|--|
| Suunnitelmiin tutustuminen ja läpikäynti | |
| Ongelmien kirjaus ja selvittäminen | |
| Materiaalimäärien laskenta | |
| Budjetointi | |
| Aikataulun laadinta | |
| Ilmoitus työmaan osapuolille työn aloituksesta ja kestosta | |
| Edelliset työvaiheet tehty | |

Hankinta:**Tarvittavat resurssit ja koneet:**

| | |
|----------------------------|--|
| Kaivinkone | |
| Uppopumput | |
| Poravaunu | |
| Pulttauskalusto + miehet | |
| Telineasentajat | |
| Timpurit | |
| Raudoittajat | |
| Valumiehistö | |
| Varustelun asentaminen | |
| Kuukulkija | |
| Kurottaja | |
| Raudoituspöytä laitteineen | |

Materiaalit:

| | Laatu: | Määrä: | |
|--------------------------------|---------------|---------------|--|
| Kalliotartunnat + juotosmassat | | | |
| Harjateräksset + Langat | | | |
| Puutavara | | | |
| Alumiinisurrit | | | |

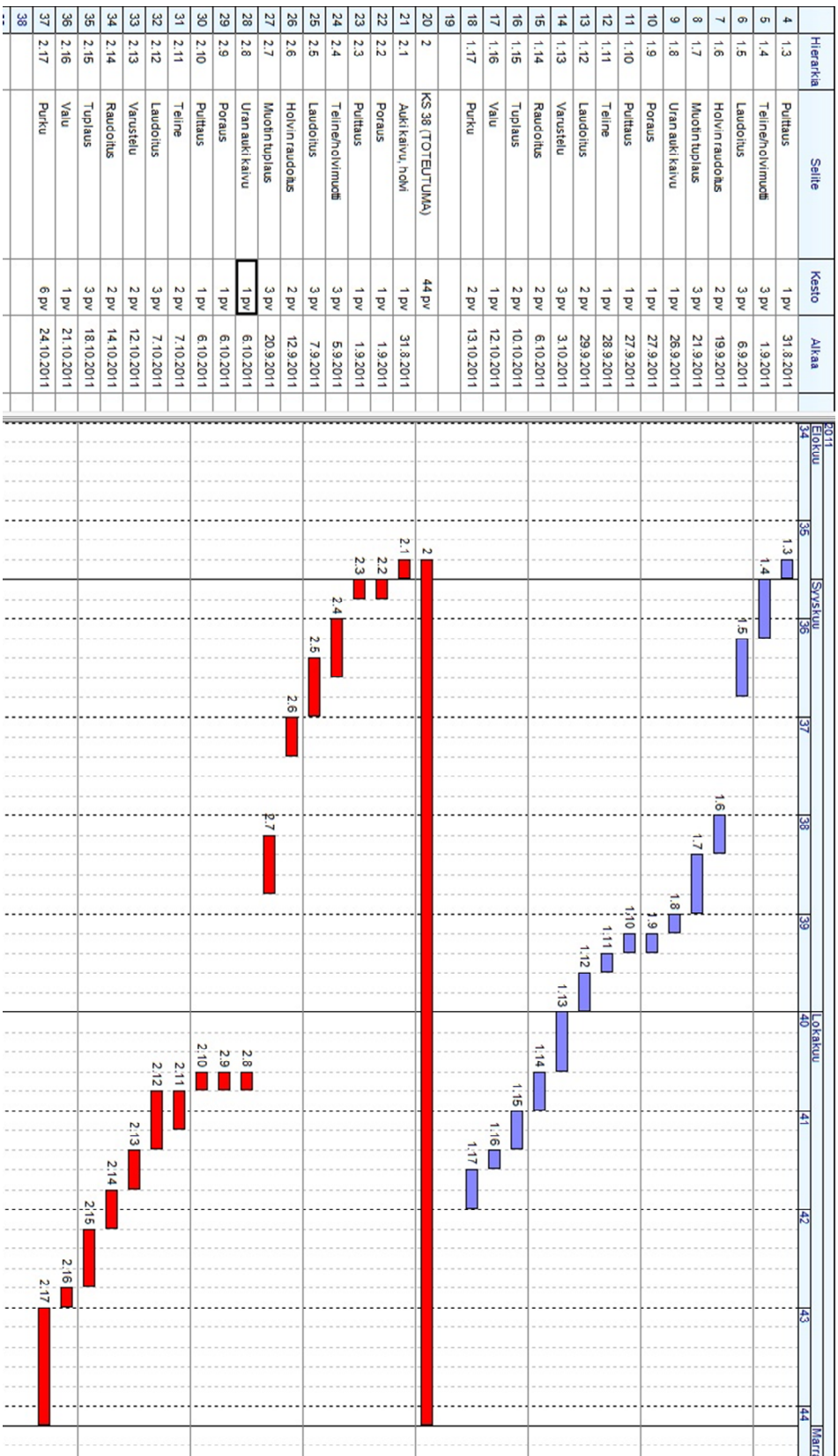
| | | | |
|--------------------------------|--|--|--|
| Väestönsuojavarusteet | | | |
| Telineosat | | | |
| Injektointiletku + kiinnikkeet | | | |

| | |
|--|--|
| Materiaalien, koneiden ja tarvikkeiden siirto kohteeseen | |
|--|--|

Turvallisuus:

| | |
|--|--|
| Tulityölupien myöntäminen | |
| Telineet tarkastettu ja hyväksytty | |
| Koneiden käyttöönottotarkastukset suoritettu | |
| Henkilökohtaiset suojavarusteet | |

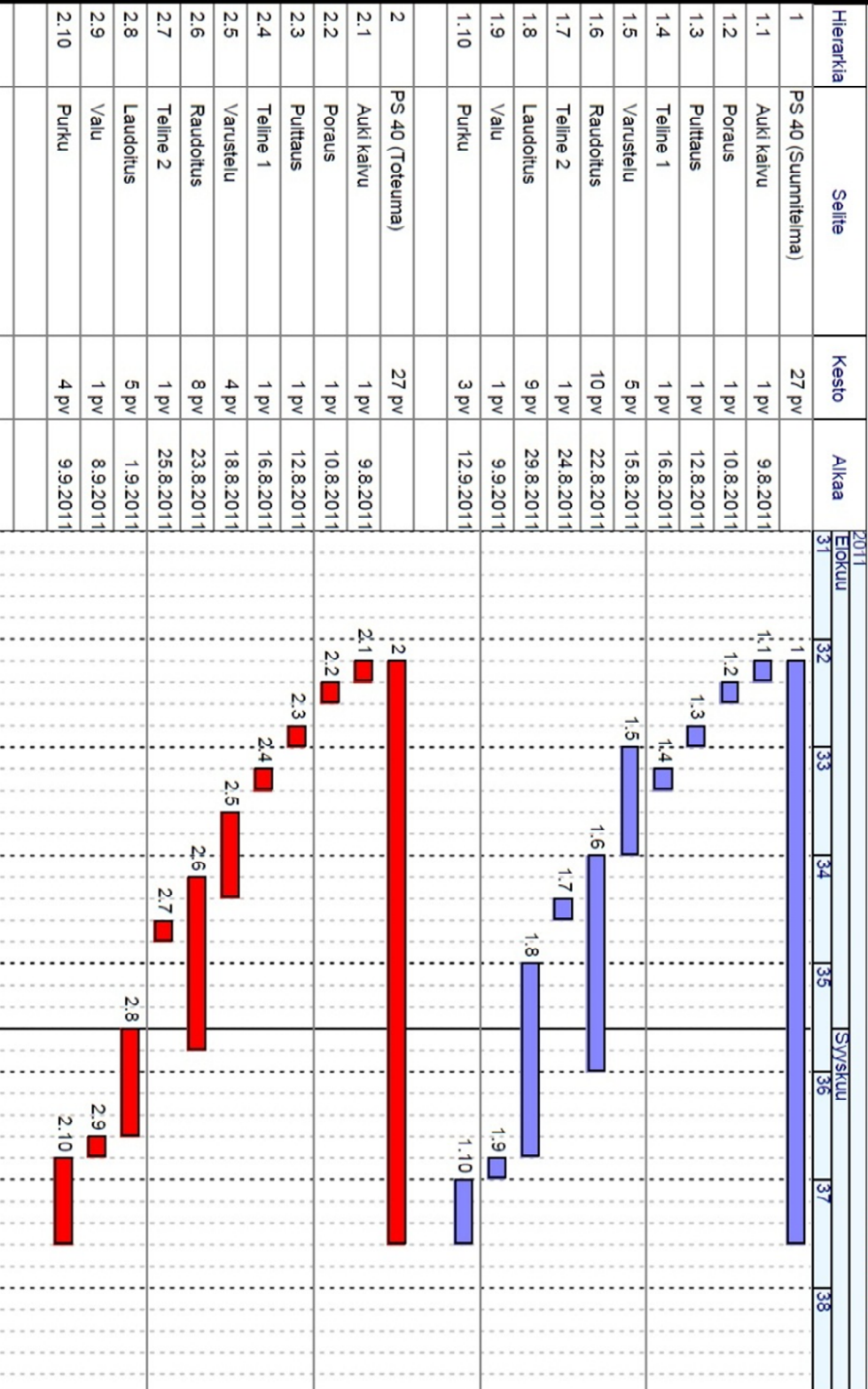
| | |
|--|--|
| Turvavaljaiden käyttö kuukulkijassa | |
| Työkohteen aitaus/rajaus uran aukikaivuuvaiheessa | |
| Kohteen valaistus + sähköt | |
| TYÖN AIKANA: | |
| Paineuran puhtauden tarkistus | |
| Seinän sijainnin tarkistus | |
| VSS varusteiden sijainnin tarkistus | |
| Valua varten: | |
| Betonin tilaus/saatavuus | |
| Valumiehistö | |
| Betonipumppu | |
| Varusteet: Vibrat + jäähdytys, muotin tiivistysvälineet vuotoja varten | |
| Materiaalin riittävyys Aikataulussa pysyminen ja muutokset | |
| TYÖN JÄLKEEN: | |
| Laadunhallinta: | |
| Betonin lämmönseuranta | |
| Raudoitustarkastus tehty | |
| Betonointipöytäkirja tehty | |
| Materiaalitodistukset | |
| Poikkeamaraportit | |
| Jokapäiväinen laadun tarkkailu ja ongelmatilanteiden ratkaisu | |
| Betonoinnin jälkeen: | |
| Lupa muotin purulle | |
| Jäähdytys | |
| Injektointi | |
| Rajaruiskutus | |
| VSS varusteiden putsaus | |
| Ongelmatilanteet: Toiminta ongelmatilanteen sattuessa Huolellinen suunnittelu ongelmien välttämiseksi | |
| Lisätietoja: | |



Lemminkäinen konserni

Päällikkö:

Suunnittelija: LEIS



C:\Users\LEIS\Documents\lopputyö14042014\Planetit\PS40.ppt15.4.2014

Sivu: 1/1

PlanNet + 6.4

Lemminkäinen konserni